

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
“PARTHENOPE”



FACOLTÀ DI SCIENZE E TECNOLOGIE
CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA
PERCORSO GEOMATICA

ELABORATO DI LAUREA

LA PRODUZIONE DELLA CARTOGRAFIA NUMERICA:
DAI FOTOGRAMMI AEREI AL FILE VECTOR

RELATORE:
ING. CLAUDIO PARENTE

CANDIDATO:
FRANCESCO FORESTA
MATR: LI/239

ANNO ACCADEMICO 2008/2009

*Ai miei Genitori,
Marianna e Chiara.*

Ringraziamenti.

Oggi termina una fantastica avventura, ricca di gioie e di difficoltà ma che è riuscita a darmi tanto. Durante questo periodo ho avuto la possibilità di ricevere tante informazioni fondamentali per il mio bagaglio culturale ma soprattutto ho avuto la possibilità di avere al mio fianco persone straordinarie che porterò sempre con me nel fantastico cammino della vita.

Desidero ringraziare il Professore Parente per i preziosi insegnamenti durante questi anni e per la tanta pazienza ed umanità mostrata nei miei confronti. Inoltre ringrazio sentitamente la Menci Software nelle persone dell'Ing. Menci e D.ssa Ceccaroni per la loro disponibilità nel fornirmi tutti gli strumenti e le informazioni utili alla redazione di questo lavoro, ringrazio la Società Fotogrammetrica Meridionale nelle persone del Dott. Santoro e del Geom. Vizzone per avermi insegnato le tecniche operative per la redazione di cartografia. Intendo poi ringraziare il Comune di Siena per la fornitura dei dati indispensabili per la stesura della tesi. Inoltre voglio esprimere tutta la mia gratitudine a quelli che mi hanno accompagnato in questo periodo, a Francesco Tortorella che mi ha sorretto in tanti momenti difficili, ai miei compagni di corso, Patrizio, Stefania, Alessandro e Giordana per aver condiviso con me tutto questo percorso, a Massimiliano, Joe, Marco e tutti i miei colleghi della Max Mile per tutta la disponibilità concessami.

Infine, ho desiderio di ringraziare con affetto tutti quelli che io definisco i miei supporter, i miei genitori per avermi dato questa opportunità e per aver creduto incondizionatamente in me, Marianna per aver avuto tanta pazienza e tanta forza nell'aiutarmi nei momenti bui, Chiara che con i suoi modi ironici sapeva sempre ricaricarmi, Rosanna e Raffaele per i preziosissimi consigli che mi hanno propinato, Gerardo per il suo sostegno, e i miei amici Ivan e Roberto per essermi stati sempre vicini.

Grazie a tutti voi per avermi supportato e sopportato, mi avete aiutato a crescere e ve ne sarò per sempre grato.

Indice.

Capitolo 1 – Fotogrammetria Digitale (acquisizione dei fotogrammi e prime elaborazioni)	6
1.1 Introduzione	6
1.2 Caratteristiche delle immagini digitali	6
1.2.1. Il formato raster	6
1.2.2. Il formato vettoriale	9
1.3 Concetti generali di fotogrammetria	10
1.3.1 Definizioni e concetti base	10
1.3.2 Le operazioni di acquisizione	11
1.3.3 Caratteristiche delle camere aeree	11
1.3.4 Il materiale fotografico	14
1.3.5 La presa fotogrammetrica e il progetto di volo	15
1.4 Orientamento interno	17
1.5 Orientamento esterno	20
1.5.1 Orientamento relativo	20
1.5.2 Orientamento assoluto	25
1.5.3 Precisione del metodo fotogrammetrico	27
1.6 Triangolazione Aerea	30
Capitolo 2 – Costruzione di file cartografici	34
2.1 Introduzione	34
2.2 Restituzione grafica e numerica	34
2.2.1 File ausiliari	36
2.2.2 Restituzione delle entità	38
2.2.3 Altre funzioni di restituzione	41
2.2.4 Il file di restituzione	45
2.3 Editing grafico	47
2.4 Generazione e codifica delle aree	49
2.5 Modelli digitali del terreno	51
2.5.1 Costruzione del TIN	52
2.5.2 Costruzione del DEM	53
2.5.3 Altre caratteristiche dei modelli digitali del terreno	54
2.6 Ortofoto	55

2.6.1	Deformazioni presenti in un fotogramma	55
2.6.2	Caso in cui il terreno è piano e parallelo al piano immagine	57
2.6.3	Realizzazione dell'ortofoto nel caso di terreno pianeggiante	58
2.6.4	Precisione del raddrizzamento	59
2.6.5	Realizzazione dell'ortofoto nel caso di terreno non pianeggiante	60
2.6.6	Precisione nella produzione di ortofoto	61

Capitolo 3 – Un'applicazione: realizzazione della cartografia in scala 1:5000

dell'area di Siena.	63	
3.1.	Introduzione	63
3.2.	Strumenti e dati utilizzati.	63
3.3.	Inquadramento geografico.	66
3.4.	Orientamento Interno.	67
3.5.	Orientamento Esterno.	78
3.6.	Restituzione.	108
3.7.	Generazione DEM.	112
3.8.	Generazione Ortofoto.	113
Bibliografia.	119	

Capitolo 1 – Fotogrammetria Digitale (acquisizione dei fotogrammi e prime elaborazioni)

1.1 - Introduzione.

Quando vediamo una cartografia molte volte ci sfugge il reale lavoro che è alla base di tutto questo lavoro. In questo capitolo, dopo una breve introduzione sulle caratteristiche delle immagini digitali, ovvero i dati sui quali si lavora, si passerà nel dettagliare le varie operazioni prettamente fotogrammetriche che ci consentono di ottenere il modello che poi diventerà cartografia.

1.2 - Caratteristiche delle immagini digitali.

La cartografia numerica viene prodotta in due formati fondamentali: il formato raster e il formato vector.

1.2.1 – Il formato raster.

Nel formato raster l'immagine viene costruita attraverso un insieme di cellette, dette pixels (abbreviazione di picture elements), similmente a quanto avviene per un mosaico per opera delle tessere.

Un file raster è costituito da due blocchi:

- Un blocco di testa (header) che contiene alcune informazioni relative alla natura, alle dimensioni (numero di righe e numero di colonne) e alla struttura del file;
- Un blocco di dati formato da una matrice di n righe e m colonne.

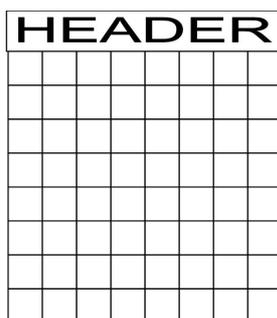


Figura 1 - Struttura file raster

L'elemento della matrice, il pixel, reca una duplice informazione:

- L'una di carattere geometrico, relativa alla posizione del pixel stesso all'interno della matrice;
- L'altra di tipo radiometrico costituita dal valore numerico associato al pixel.

Per quanto attiene quest'ultima, va sottolineato che il file raster non è altro che una descrizione numerica di un'immagine letta attraverso particolari dispositivi (CCD,

Couple Charge Device) inseriti in un trasduttore ottico (scanner). Il fenomeno radiometrico viene espresso attraverso una delle seguenti modalità:

- Un valore binario (0=nero, 1=bianco);
- Un valore da 0 a 255, per esprimere una tonalità di grigio tra 256 possibili;
- Un valore per esprimere un colore tra 256 predefiniti;
- Un valore per esprimere un colore tra 256^3 possibilità cromatiche (ottenibili dalla combinazione dei tre colori fondamentali: rosso, verde e blu).

Poiché si tratta di matrici che recano informazioni di tipo “areale”, le dimensioni dei file raster sono notevoli, nettamente superiori a quelle che caratterizzano analoghe rappresentazioni di tipo vettoriale. Di conseguenza sono necessarie considerevoli risorse di memoria: l’ostacolo delle capacità, sia pur elevate, ma comunque limitate insite in un disco fisso di un PC può essere superato ricorrendo ai dischi ottico-magnetici, tra l’altro caratterizzati da tempi di accesso non eccessivi (3-4 volte maggiori di quelli relativi al disco fisso).

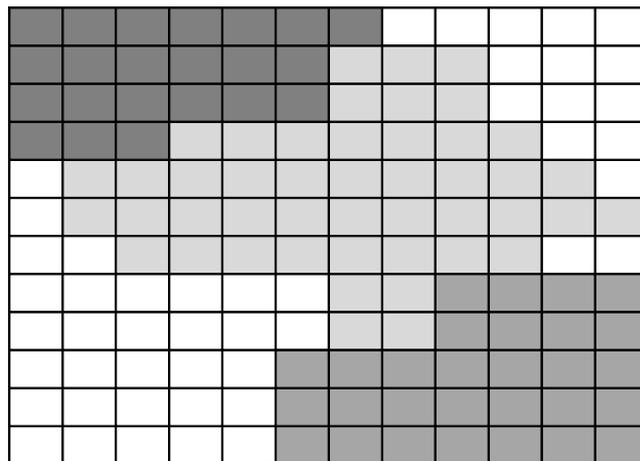


Figura 2 - Struttura file raster in tonalità di grigio

Le dimensioni di un file raster sono strettamente collegate a due parametri, impostati al momento dell’acquisizione dell’immagine:

- La risoluzione geometrica;
- La risoluzione radiometrica.

La risoluzione geometrica è determinata dal numero di pixels presenti per pollice lungo ogni asse e si esprime in dpi (dots per inch, punti per pollice). La risoluzione radiometrica è determinata dal dettaglio di informazione cromatica associata al pixel ovvero dalla tipologia cromatica prescelta e quindi dal numero di bit necessari per l’archiviazione.

In relazione alla risoluzione cromatica si ha che i file raster possono essere di quattro tipologie fondamentali:

- Bianco/nero;
- Livelli di grigio;
- Color index;
- True color.

TIPO	NUM. DI BIT	NUM. DI COLORI
Bianco/Nero	1	2
Livelli di grigio	8	256
Color indexed	8	256
True color	24	16.777.216

Tabella 1 - Numero di bit necessari e numero di colori possibile con i diversi tipi di file raster

La dimensione effettiva N_{byte} di un file raster, ovvero lo spazio necessario, in numero di byte, per la sua archiviazione può essere calcolata con la formula:

$$N_{byte} = \frac{RIS^2 \cdot N_{bit} \cdot S}{8} [1]$$

Dove risulta:

RIS = risoluzione espressa in punti per pollice;

N_{bit} = numero di bit per pixel (1, 8 o 24);

S = superficie del documento espressa in pollici ² .

	100 dpi	200 dpi	300 dpi	400 dpi
Bianco/nero	720 KB	2880 KB	6480 KB	11520 KB
Livelli di grigio	5760 KB	23040 KB	51840 KB	92160 KB
Color indexed	5760 KB	23040 KB	51840 KB	92160 KB
True color	17280 KB	69120 KB	155520 KB	276480 KB

Tabella 2 - Tabella relativa alle dimensioni assunte dai file in funzione delle modalità di scansione per un documento cartografico di 61 cm X 61 cm

Esistono comunque possibilità di compattazione dei dati (compressione) che consentono di diminuire la dimensione dei file. Una semplice ed immediata tecnica di compressione consiste nel memorizzare il numero di pixel uguali invece che memorizzarli brutalmente in sequenza. Ad esempio, considerata una figura in bianco (B) e nero (N), la prima riga data dalla sequenza di 4 pixel bianchi, 3 neri, 7 bianchi, 5 neri, anziché come BBBBNNNBBBBBBBNNNNN viene memorizzata semplicemente come 4B3N7B5N.

La generazione dei file raster avviene di solito in maniera del tutto automatica attraverso i meccanismi della scansione delle immagini ovvero utilizzando gli scanner. La presenza sul mercato di numerosi tipi di software per il trattamento delle immagini rende possibile operare sui file raster anche prescindendo dalla conoscenza diretta della struttura del file. I formati standard attualmente in uso sono molteplici; tra i più diffusi in cartografia abbiamo: TIFF, BITMAP, GIF TGA, ecc.

1.2.2 – Il formato vettoriale.

La cartografia numerica in formato vettoriale si ottiene attraverso l'impiego di primitive geometriche semplici e complesse; alle prime appartengono il punto e la linea. Il punto è individuato dalla coppia di coordinate cartesiane (x, y) che ne esprimono la posizione nel sistema di riferimento adottato; la linea è costituita da un insieme ordinato di punti, per cui è determinata da una successione di coordinate.

Si può in definitiva affermare che il formato in questione si basa sull'utilizzo di un unico elemento, il vettore, attraverso il quale diviene possibile costruire qualsiasi geometria, anche la più complessa: un punto sarà individuato da un vettore di modulo nullo, una spezzata da una sequenza di vettori tali che il punto d'inizio del primo è punto di fine per l'ultimo.

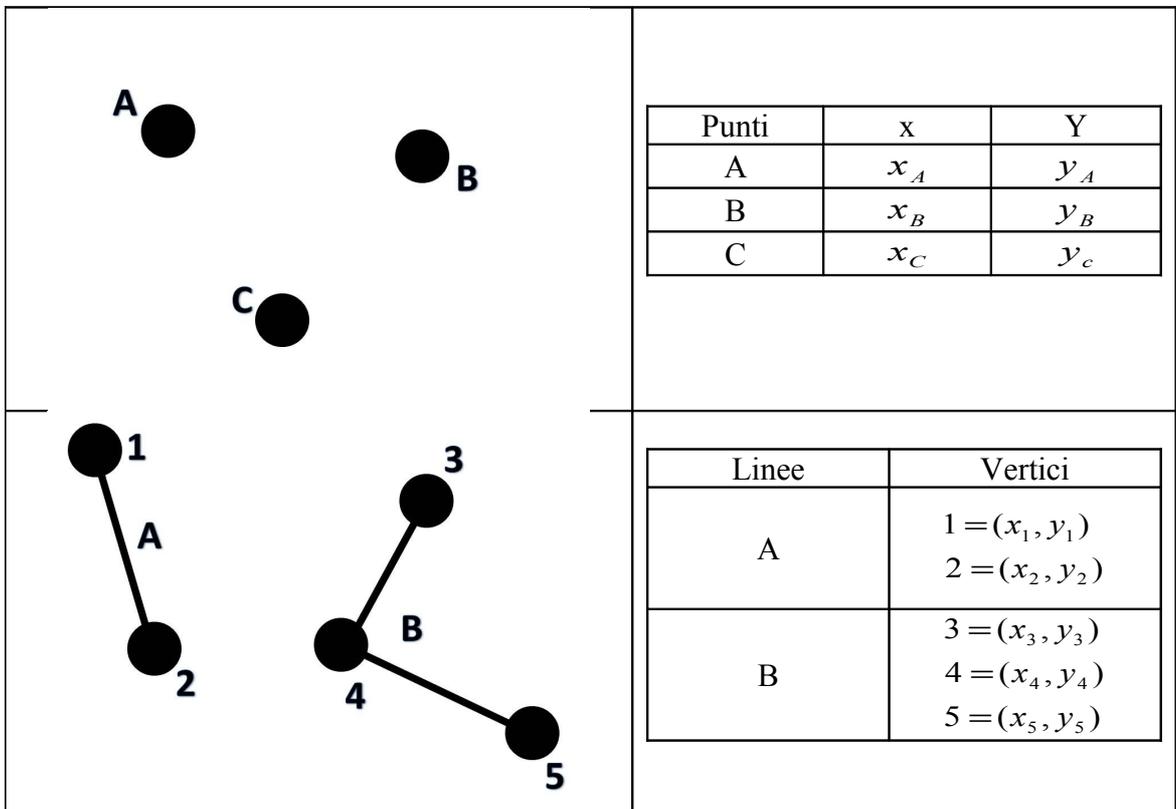


Figura 3 - Primitive geometriche del formato vector: rappresentazione grafica e schematizzazione della struttura di archiviazione

Per realizzare elaborazioni automatiche sui dati cartografici occorre formalizzare le relazioni spaziali che possono intercorrere tra gli oggetti indicati e descritti dalla carta e quindi tra le primitive geometriche che li rappresentano. Esempi di tali relazioni dette topologiche sono: l'adiacenza, l'intersezione, l'inclusione, la connessione.

1.3 – Concetti generali di fotogrammetria.

Attraverso la fotogrammetria è possibile ricostruire la forma e le dimensioni di un oggetto attraverso due immagini dello stesso riprese da due punti di vista differenti. Per

comprendere i concetti della fotogrammetria si utilizza l'ipotesi che sfrutta il modello geometrico teorico della proiezione centrale. Vediamo adesso come è possibile ricostruire il modello dell'oggetto attraverso i due fotogrammi.

1.3.1 – Definizioni e concetti di base.

Si supponga di riprendere un oggetto, il terreno, con una coppia di fotogrammi secondo la sezione in figura 4.

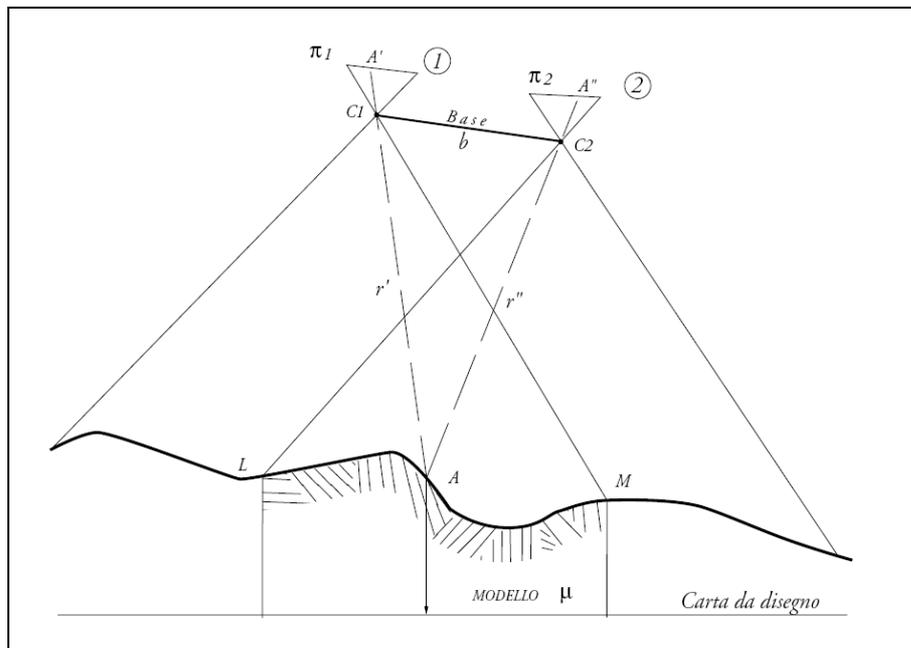


Figura 4 - Schematizzazione presa

I due fotogrammi 1 e 2 hanno in comune la zona di terreno che va dal punto L al punto M , le due camere sono poste in posizione distinta e incognite nello spazio. Uno stesso punto A ha dato origine al punto A' sul fotogramma 1 ed al punto A'' sul fotogramma 2; questi punti comuni sulle due immagini sono detti punti omologhi. La distanza tra le due camere da presa c_1 e c_2 misurato rispetto ai due punti nodali del sistema ottico si chiama base di presa. I raggi r' e r'' sono detti raggi omologhi e possono essere visti come raggi uscenti dal punto A o raggi proiettanti i punti A' e A'' dai due centri di proiezione c_1 e c_2 verso l'intersezione degli stessi sul terreno in A .

Ora si ipotizza di partire dai fotogrammi 1 e 2 facendo scomparire il terreno dalla nostra vista, pensiamo di conoscere la posizione dei punti c_1 e c_2 e la giacitura dei piani π_1 e π_2 e di poter proiettare ciascuna coppia di punti omologhi verso il terreno: è così possibile idealmente ricostruire il luogo dei raggi omologhi che chiamiamo modello.

Con le ipotesi precedenti, è possibile ricavare le coordinate dell'intersezione delle rette r^I e r^{II} cioè le tre coordinate del punto A nello spazio con semplici relazioni di geometria analitica.

Le operazioni che si effettuano per trovare la posizione dell'oggetto nello spazio sono:

- Orientamento Interno, consente di ricostruire la metrica della proiezione centrale;
- Orientamento esterno, ricostruisce l'intersezione dei raggi omologhi in qualsiasi sistema di riferimento ed a scala voluta. Tale operazione avviene attraverso due fasi: Orientamento Relativo ed Orientamento Assoluto.

1.3.2 – Le operazioni di acquisizione.

L'elemento essenziale per l'acquisizione delle informazioni metriche primarie dell'oggetto è la camera da presa, per questo la precisione del metodo dipende in primo luogo da questo componente.

La camera deve consentire la registrazione delle informazioni metriche e permettere di riutilizzarle senza deformazioni. La precisione della camera consiste anche nella stabilità dei parametri geometrici nel tempo, questa viene definita nel certificato di calibrazione della camera.

La precisione del prodotto finale dipende anche dal metodo utilizzato per la presa, dalla quota di volo, dalla velocità di volo e da molti altri parametri di acquisizione primaria.

1.3.3 – Caratteristiche delle camere aeree.

La prima caratteristica della camera è il suo obiettivo: l'effetto della distorsione radiale è corretto sino a valori residui di $3-5 \mu m$; della distorsione residua se ne conosce l'andamento, attraverso il certificato di calibrazione. Anche le distorsioni tangenziali e le aberrazioni cromatiche sono ridotte praticamente a zero grazie a particolari accoppiamenti di lenti.

Il formato usuale della camera è di $230 \times 230 \text{ mm}^2$; la camera è a fuoco fisso. Per scopi cartografici il terreno si trova sempre a distanza iperfocale (tutti gli oggetti ripresi sono cioè a fuoco).

Il magazzino intercambiabile in pochi secondi, è costituito da 120-150 m di pellicola per permettere la presa di blocchi anche di 600 fotogrammi senza ricambi. Per eliminare deformazioni meccaniche della pellicola, al momento della presa, viene spianata su una piastra piana, forata e collegata ad una pompa aspirante.

Le camere aeree dispongono in mezzzeria di ogni lato o ai vertici di ogni spigolo delle marche fiduciali o repères, che sono aperture alla luce di dimensione di circa un decimo

di mm che all'atto dello scatto impressionano ciascun fotogramma con forma particolare.

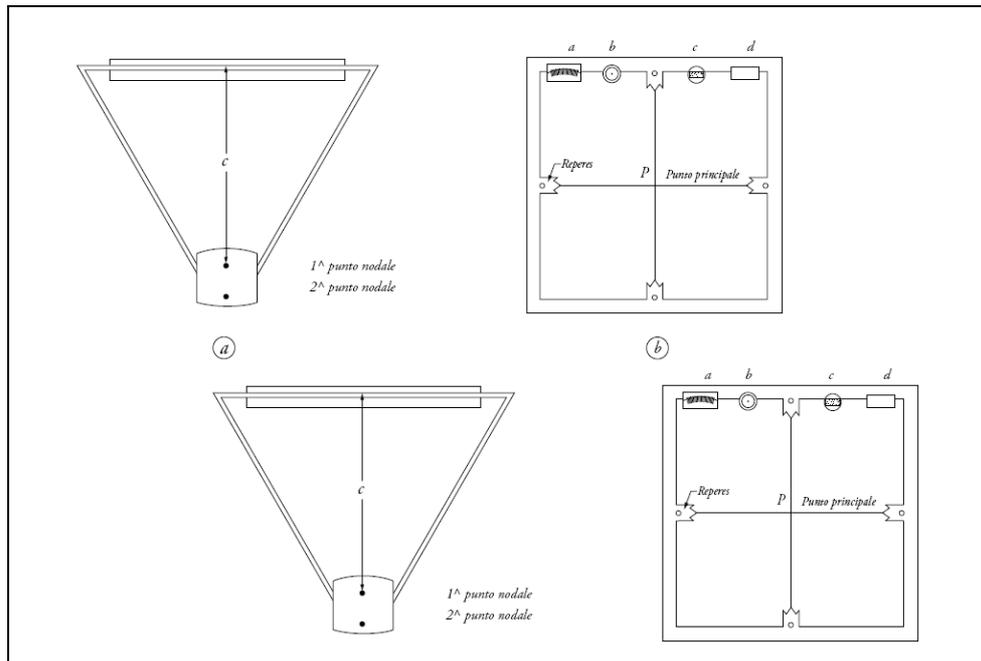


Figura 5 - Geometria della camera e posizione marche fiduciali



Figura 6 - Esempio di fotogramma



Figura 7 - Particolare della marca fiduciale

L'incrocio di queste marche individua gli assi (x, y) che rappresentano il sistema di riferimento interno del fotogramma. Le coordinate di questi quattro punti sono misurate con precisione e scritte sul certificato di calibrazione della camera. L'incrocio degli assi

congiungenti le marche individua il punto principale della camera P, definito come la proiezione del punto nodale interno del corpo ottico sul piano dell'immagine (vedi figura 5).

In ogni camera e quindi per ogni presa, vengono anche fotografati 5 elementi che si trovano sul bordo del fotogramma, che sono:

- Altimetro;
- Livella sferica;
- Contatore numero diapositive e numero strisciata;
- Data e ora di volo;
- Valore della distanza principale c.

Alcune camere hanno anche la possibilità di visualizzare altre informazioni supplementari.

1.3.4 – Il materiale fotografico.

Il materiale fotografico può essere così schematizzato:

- Un supporto resistente, inerte e trasparente di spessore da 8 a 20 decimi di *mm* di policarbonato di polietilene;
- Uno strato di materiale sensibile di 5-30 μm ;
- Un piccolo strato adesivo tra i materiali precedentemente indicati;
- Uno strato superficiale protettivo sopra il materiale sensibile;
- Un successivo strato “antialo” atto a eliminare riflessi nocivi posto sullo strato di protezione.

La luce visibile ha una lunghezza d'onda compresa tra i 400 μm e i 720 μm , il materiale sensibile può coprire tutto questo spettro nonché parte delle radiazioni ultra violette e dell'infrarosso vicino.

Possiamo così suddividere le pellicole:

- Bianco e nero negativo;
- Ortocromatico o pancromatico;
- Colore negativo;
- Colore invertibile;
- Infrarosso bianco e nero negativo;
- Infrarosso falso colore.

1.3.5 – La presa fotogrammetrica e il progetto di volo.

In figura è rappresentato lo schema di una ripresa aerea. Abbiamo un aereo che vola ad un'altezza relativa media dal suolo H e scatta due fotogrammi in epoche t_1 , dove la camera si trova nella posizione O_1 , e all'epoca t_2 dove la camera è posta in O_2 .

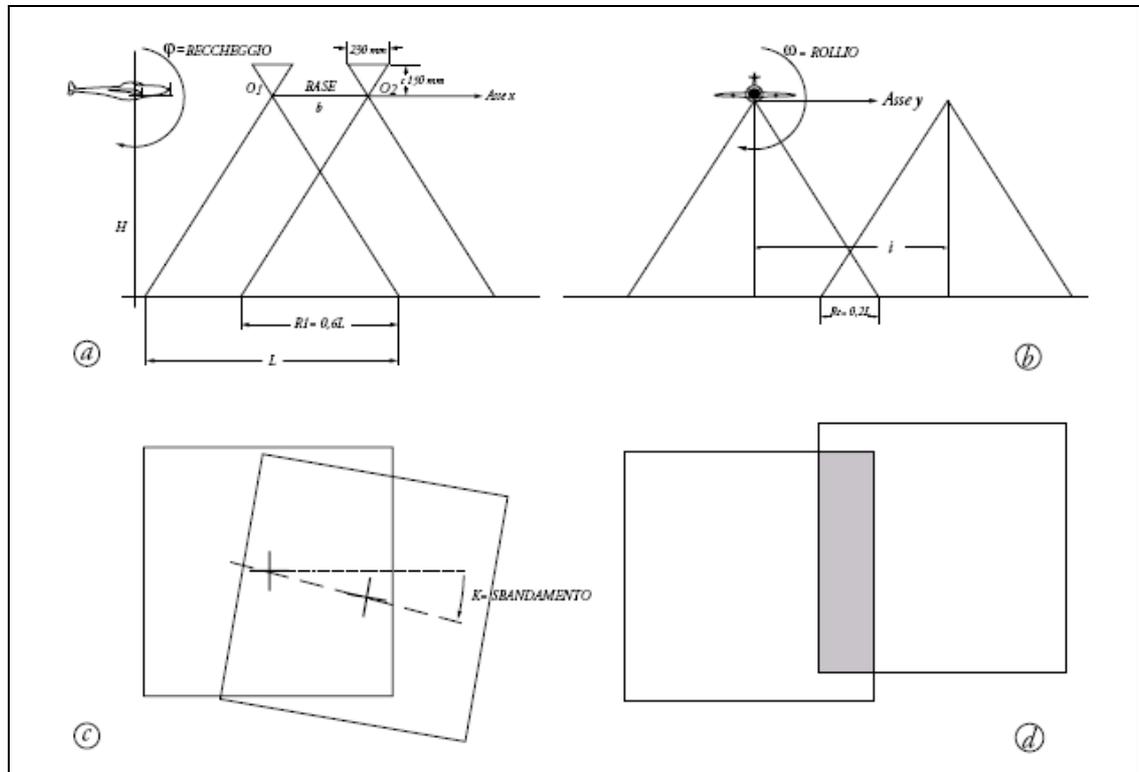


Figura 8 - Definizioni di base

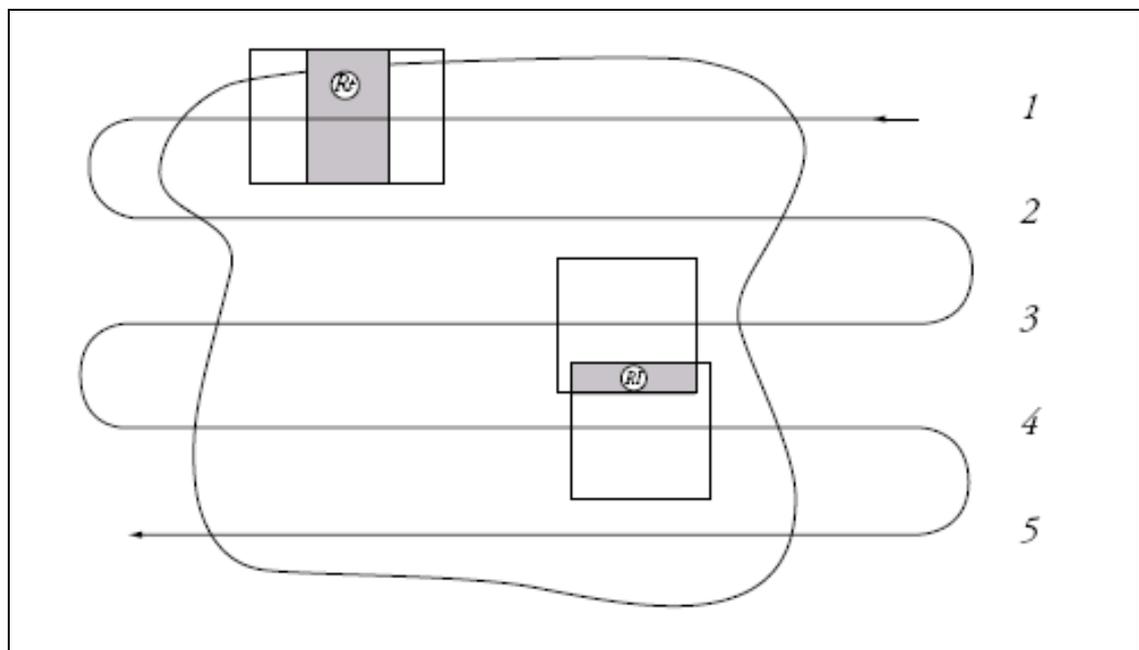


Figura 9 - Copertura per strisciate parallele di un territorio da rilevare

Consideriamo un sistema di assi, dove, come asse delle X , si considera quello nella direzione della base di presa, ovvero nella direzione dei centri di presa, per asse Z

consideriamo quello diretto secondo la verticale nel punto O_1 e l'asse Y ortogonale ai due precedenti, in modo che i tre assi formino un sistema destrorso.

Definiamo rotazione ω o rollio la rotazione attorno all'asse X , rotazione φ o beccheggio quella attorno all'asse Y ed infine sbandamento κ la rotazione attorno all'asse Z .

Una serie di fotogrammi che coprono un certo territorio viene definita strisciata. Generalmente il volo va eseguito nelle ore a cavallo del mezzogiorno in modo da evitare che ombre molto lunghe rendano difficile la comprensione del territorio.

Per poter ricoprire uniformemente tutto il territorio è necessario che ci siano almeno due fotogrammi per ogni punto del terreno, questo per consentire una corretta restituzione. Per far ciò e diminuire al massimo il numero dei fotogrammi è sufficiente che il ricoprimento di un fotogramma con il successivo della strisciata sia di $0,5 L$, costruendo così dei modelli di dimensione $L \times 0,5L$ con i quali si ricopre tutta l'area interessata.

Il tutto viene fatto perché se in una strisciata di terreno i punti fossero ripresi con un solo fotogramma non si potrebbe costruire mai la cartografia.

Per prudenza si assume che per i terreni pianeggianti il ricoprimento longitudinale R_1 fra i fotogrammi sia circa del 60%, cioè che si abbia un ricoprimento fra i modelli successivi di una strisciata di almeno il 10%.

Anche fra le successive strisciate vale questa regola di prudenza ed anzi il valore aumenta al 20% per i terreni pianeggianti. Tale valore è maggiorato a causa dello sbandamento dell'aereo e dall'impossibilità di mantenersi in volo parallelamente alla strisciata precedente.

Con questi dati è possibile progettare l'interasse delle strisciate i e la base di presa b :

- $i = (1 - R_1)L$
- $b = (1 - R_1)L$

La scala media del fotogramma sarà pari a:

$$n = \frac{H}{c} \quad [2]$$

Attraverso questa strada è possibile ricavare il numero minimo dei fotogrammi necessari a ricoprire l'intero territorio:

$$n = \frac{S}{(1 - R_1)(1 - R_1)L^2} \quad [3]$$

Altro parametro importante nel progetto di volo è la scala media dei fotogrammi in funzione della scala e dello scopo della carta, questa è rappresentata dal rapporto scala carta/scala fotogramma.

La tabella successiva propone i valori standard della scala media dei fotogrammi ($1/n$) e della quota relativa di volo H in funzione della scala della carta.

n=1 – Scala carta	m=1 – Scala fotogramma	H (c=150mm)
500	3.000 – 4.000	500 m (900 m con c=300mm)
1.000	5.000 – 6.000	800 m
2.000	7.500 – 9.000	1.200 m
5.000	12.000 – 18.000	2.200 m
10.000	18.000 – 25.000	3.500 m
25.000	25.000 – 40.000	5.000 m
50.000	40.000 – 50.000	6.000 m

Tabella 3 - Valori standard della scala dei fotogrammi e della quota di volo in funzione della scala della carta

Nel progetto di volo si ha anche un altro parametro importante da rispettare, le condizioni meteorologiche che per una presa ideale devono essere:

- Assenza di nubi sotto e sopra la quota di volo;
- Assenza di foschia;
- Assenza di vento forte;
- Inclinazione dei raggi solari maggiore di 30°;
- Le condizioni vegetative o di copertura di nevi devono essere tali da poter osservare correttamente il terreno, le recinzioni, bordi di strade, ecc.

Per poter eseguire questi voli, il velivolo utilizzato deve avere particolari caratteristiche, principalmente la stabilità. L'aereo deve essere pluriposto per consentire la salita di pilota, navigatore e fotografo ed avere un posto ausiliario occupato dalla camera da presa, deve permettere l'alloggiamento di accessori ed almeno un magazzino di ricambio.

L'aereo deve essere dotato di tutti i dispositivi telefonici e di dialogo tra pilota e navigatore e può disporre anche di dispositivi ausiliari come ad esempio ricevitori GPS navigazionali o geodetici.

1.4 – Orientamento interno.

Eseguire l'orientamento interno di un fotogramma significa determinare quei parametri che consentono di passare dalle coordinate strumentali alle coordinate interne di un qualsiasi punto immagine appartenente al fotogramma.

Su ogni fotogramma sono presenti le immagini impressionate per contatto durante l'esposizione della pellicola di 4 punti (marche fiduciali). Di questi 4 punti si conoscono le coordinate dl sistema di riferimento $[F; xy]$ che ha assi paralleli agli assi x e y del sistema di riferimento interno. Una volta misurate le coordinate strumentali x_s e y_s dei 4 punti fiduciali, si determinano i parametri che consentono di passare dalle coordinate strumentali a quelle x , y (vedi figura 10)

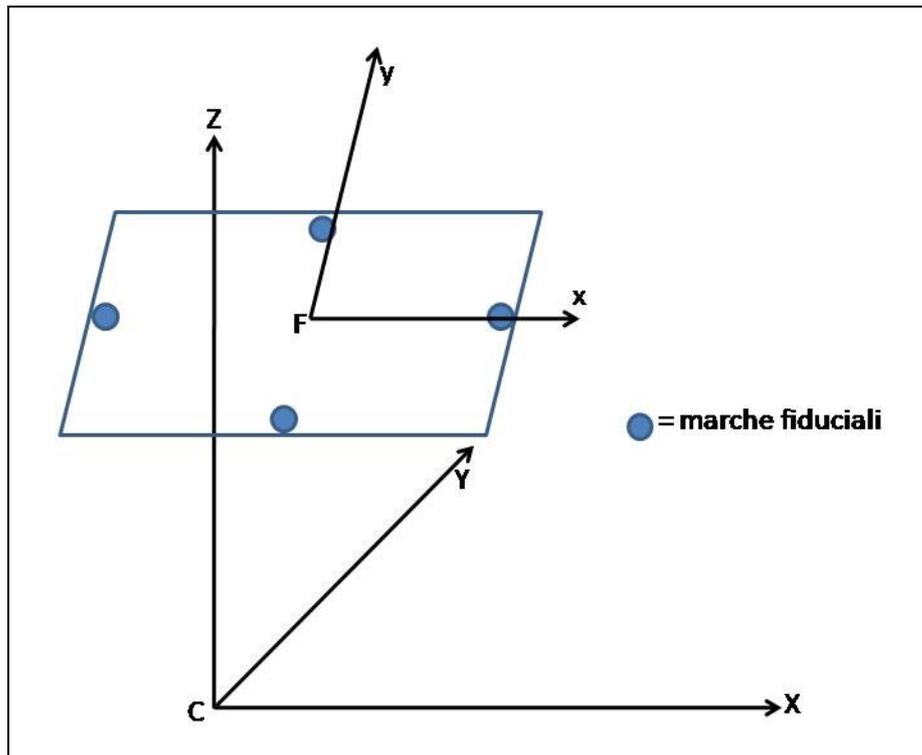


Figura 10 - Riferimento lastra, riferimento interno e marche fiduciali

La trasformazione piana utilizzata in questo caso è l'omografia. Questa trasformazione lega i due sistemi di riferimento mediante le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} x &= f \cdot (x_s, y_s) = \frac{a \cdot x_s + b \cdot y_s + c}{g \cdot x_s + h \cdot y_s + l} \\ y &= g \cdot (x_s, y_s) = \frac{d \cdot x_s + e \cdot y_s + f}{g \cdot x_s + h \cdot y_s + l} \end{aligned} \quad [4]$$

dove a,....., h sono 8 parametri incogniti che possono essere determinati se sono note le coordinate x , y e x_s , y_s di almeno 4 punti (in questo caso le 4 marche fiduciali).

Le equazioni 4 non sono lineari, quindi per poter procedere alla linearizzazione del sistema occorre determinare una serie di valori approssimati per le 8 incognite. Questo è facilmente fattibile risolvendo il sistema lineare che si ottiene moltiplicando ogni equazione per il denominatore del secondo membro:

$$\begin{cases} a \cdot x_{s1} + b \cdot y_{s1} + c - g \cdot x_{s1} \cdot x_1 - h \cdot y_{s1} \cdot y_1 = x_1 \\ d \cdot x_{s1} + e \cdot y_{s1} + f - g \cdot x_{s1} \cdot y_1 - h \cdot y_{s1} \cdot y_1 = y_1 \\ a \cdot x_{s2} + b \cdot y_{s2} + c - g \cdot x_{s2} \cdot x_2 - h \cdot y_{s2} \cdot y_2 = x_2 \\ d \cdot x_{s2} + e \cdot y_{s2} + f - g \cdot x_{s2} \cdot y_2 - h \cdot y_{s2} \cdot y_2 = y_2 \\ a \cdot x_{s3} + b \cdot y_{s3} + c - g \cdot x_{s3} \cdot x_3 - h \cdot y_{s3} \cdot y_3 = x_3 \\ d \cdot x_{s3} + e \cdot y_{s3} + f - g \cdot x_{s3} \cdot y_3 - h \cdot y_{s3} \cdot y_3 = y_3 \\ a \cdot x_{s4} + b \cdot y_{s4} + c - g \cdot x_{s4} \cdot x_4 - h \cdot y_{s4} \cdot y_4 = x_4 \\ d \cdot x_{s4} + e \cdot y_{s4} + f - g \cdot x_{s4} \cdot y_4 - h \cdot y_{s4} \cdot y_4 = y_4 \end{cases} \quad [5]$$

Riscriviamo il sistema [5] in forma matriciale:

$$C \cdot X = T \quad [6]$$

dove:

$$C = \begin{pmatrix} x_{s1} & y_{s1} & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_{s1}, x_1 & -y_{s1}, y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_{s1} & y_{s1} & 1 & -x_{s1}, x_1 & -y_{s1}, y_1 \\ x_{s2} & y_{s2} & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_{s2}, x_2 & -y_{s2}, y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_{s2} & y_{s2} & 1 & -x_{s2}, x_2 & -y_{s2}, y_2 \\ x_{s3} & y_{s3} & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_{s3}, x_3 & -y_{s3}, y_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_{s3} & y_{s3} & 1 & -x_{s3}, x_3 & -y_{s3}, y_3 \\ x_{s4} & y_{s4} & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_{s4}, x_4 & -y_{s4}, y_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_{s4} & y_{s4} & 1 & -x_{s4}, x_4 & -y_{s4}, y_4 \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \\ c_0 \\ d_0 \\ e_0 \\ f_0 \\ g_0 \\ h_0 \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ x_4 \\ y_4 \end{pmatrix} \quad [7]$$

I valori approssimati cercati risultano essere gli elementi del vettore colonna X definito come è noto dalla seguente relazione:

$$X = C^{-1} \cdot T \quad [8]$$

Ora è possibile linearizzare le equazioni 4 e scrivere un sistema lineare del tipo:

$$A \cdot Y = D \quad [9]$$

dove la matrice A è una matrice quadrata di ordine 8 i cui elementi sono le derivate parziali delle equazioni 4 fatte rispetto alle incognite e calcolate nel punto di approssimazione.

Y un vettore colonna contenente le correzioni ai valori approssimati delle incognite e D il vettore colonna dei termini noti.

Ovviamente per la ricerca della soluzione sarà necessario effettuare alcune iterazioni.

Determinati in questo modo i parametri a, \dots, h il calcolatore può determinare di ogni punto misurato le coordinate x, y utilizzando le 4. Queste ultime coincidono con le coordinate x_1, y_1 utilizzate per la scrittura delle equazioni di collinearità.

L'operazione di orientamento interno si conclude comunicando al calcolatore i valori delle coordinate x_o, y_o e la distanza principale p .

1.5 – Orientamento esterno.

L'orientamento esterno consiste nel rendere note la posizione dei punti di presa e la direzione degli assi ottici della camera al momento della presa. Per risolvere questo problema c'è la necessità di conoscere le coordinate terreno di almeno tre punti ben disposti, non allineati fra loro e visibili sui fotogrammi.

Quindi, l'orientamento esterno consiste nel ricostruire il modello stereoscopico il che significa che i fotogrammi siano nella posizione che essi avevano al momento della presa.

Il problema dell'orientamento esterno può essere diviso in due fasi sequenziali:

- orientamento relativo: si viene a creare il modello ottico che consiste nella formazione di un modello tridimensionale dell'oggetto fotografato in una scala qualunque e posto in una posizione spaziale arbitraria;
- orientamento assoluto: si ruota e si trasla rigidamente il modello intorno a tre assi perpendicolari, in modo da orientarlo correttamente rispetto al terreno.

1.5.1 – Orientamento relativo.

L'operazione di orientamento relativo consiste nel rendere complanari i raggi omologhi. Questo risultato è conseguibile agendo solo su 5 dei 12 movimenti dei due fotogrammi. Consideriamo due fotogrammi ripresi con assi paralleli tra loro e approssimativamente normali all'oggetto fotografato (vedi figura 11)

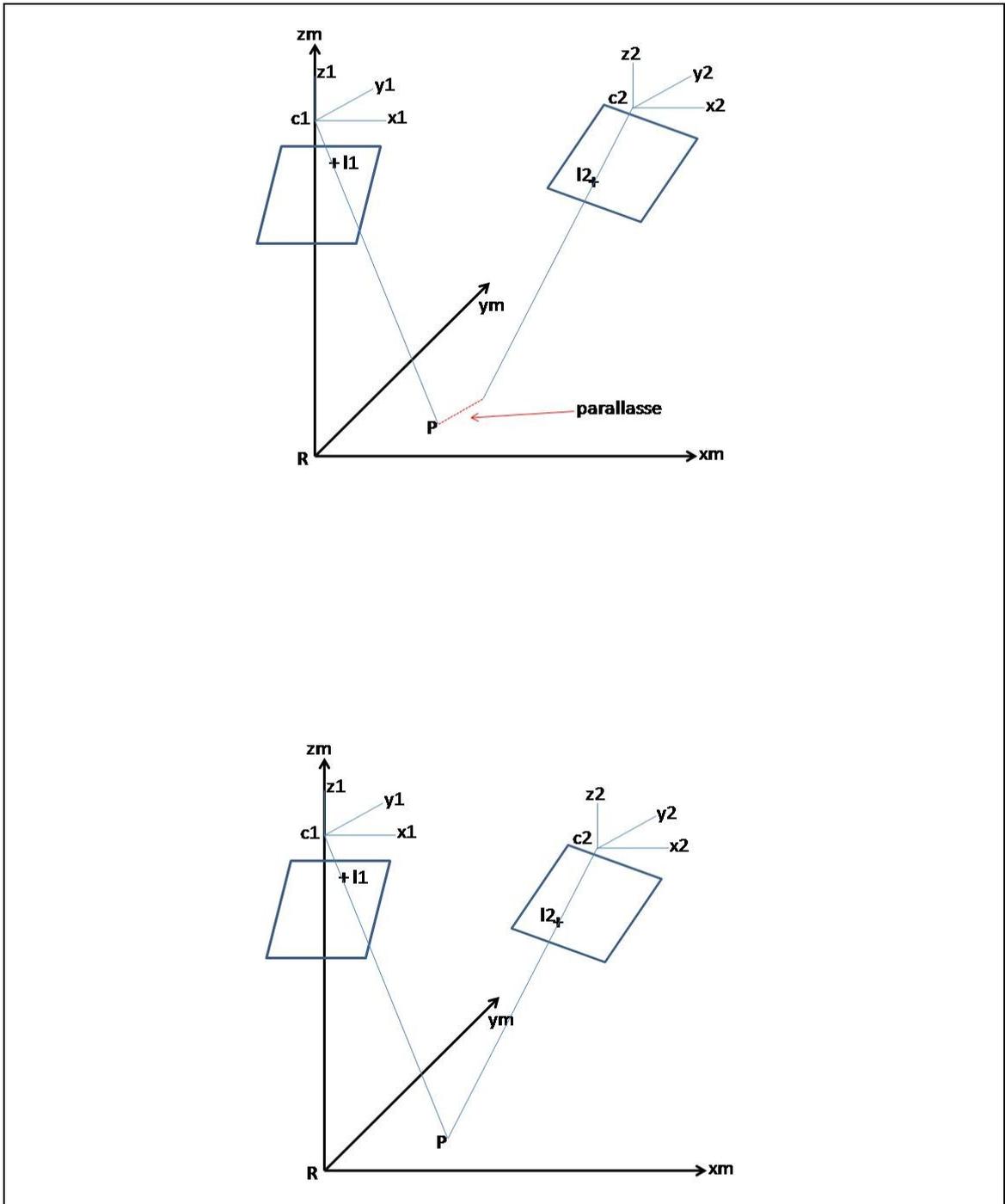


Figura 11 - Orientamento relativo: sinistra=coppia non orientata, destra=coppia orientata
 Consideriamo un sistema di riferimento $[R; x_m, y_m, z_m]$ detto sistema modello nel quale le coordinate dei centri di presa risultano:

$$\begin{array}{lll}
 x_{m_1} = 0 & y_{m_1} = 0 & z_{m_1} \\
 x_{m_2} = bx & x_{m_2} = by & z_{m_2} = z_{m_1} + bz
 \end{array} \quad [10]$$

Consideriamo ancora per semplicità:

$$\begin{array}{l}
 x_{o1} = y_{o1} = 0 \\
 x_{o2} = y_{o2} = 0 \quad [11]
 \end{array}$$

$$p_1 = p_1 = 0$$

Supponiamo che le rotazioni dei due sistemi interni rispetto al modello siano di ampiezza inferiore a 5 gon. Per un generico angolo α di ampiezza inferiore a 5 gon è lecito considerare valide le seguenti approssimazioni:

$$\text{sen}\alpha = \alpha \quad \cos\alpha = 1 \quad \text{sen}\alpha \cdot \text{sen}\alpha = \alpha^2 = 0 \quad [12]$$

In queste particolari condizioni le matrici di rotazione dei due fotogrammi assumono la seguente forma:

$$R_1 = \begin{vmatrix} 1 & -\kappa_1 & \varphi_1 \\ \kappa_1 & 1 & -\omega_1 \\ -\varphi_1 & \omega_1 & 1 \end{vmatrix} \quad R_2 = \begin{vmatrix} 1 & -\kappa_2 & \varphi_2 \\ \kappa_2 & 1 & -\omega_2 \\ -\varphi_2 & \omega_2 & 1 \end{vmatrix} \quad [13]$$

Consideriamo ora il punto P in figura 11; esso avrà, nel sistema modello, coordinate pari a xm_p, ym_p, zm_p .

Si può determinare la coordinata zm_p partendo dalle coordinate immagine x_{11}, y_{11} di P sul primo fotogramma:

$$xm_p = (zm_p - zm_{c1}) \frac{x_{11} - y_{11} \cdot \kappa_1 - p \cdot \varphi_1}{-x_{11} \cdot \varphi_1 + y_{11} \cdot \omega_1 - p} \quad [14]$$

Posto $(zm_{c1} - zm_p) = h$ e dividendo il numeratore e denominatore della [14] per la quantità $-p$ si ottiene:

$$xm_p = -h \cdot \frac{-\frac{x_{11}}{p} + \frac{y_{11}}{p} \cdot \kappa_1 + \varphi_1}{\frac{x_{11}}{p} \cdot \varphi_1 - \frac{y_{11}}{p} \cdot \omega_1 + 1} = -h \cdot \left(-\frac{x_{11}}{p} + \frac{y_{11}}{p} \cdot \kappa_1 + \varphi_1 \right) \cdot \left(\frac{x_{11}}{p} \cdot \varphi_1 + \frac{y_{11}}{p} \cdot \omega_1 + 1 \right) \quad [15]$$

Con le stesse approssimazioni scritte nella [12] si può accettare la seguente semplificazione:

$$\left(1 + \frac{x_{11}}{p} \cdot \varphi_1 - \frac{y_{11}}{p} \cdot \omega_1 \right)^{-1} = 1 - \frac{x_{11}}{p} \cdot \varphi_1 + \frac{y_{11}}{p} \cdot \omega_1 \quad [16]$$

per cui la [15] diventa:

$$xm_p = -h \cdot \left(-\frac{x_{11}}{p} + \frac{y_{11}}{p} \cdot \kappa_1 + \varphi_1 \right) \cdot \left(\frac{x_{11}}{p} \cdot \varphi_1 + \frac{y_{11}}{p} \cdot \omega_1 + 1 \right) = -h \cdot \left(-\frac{x_{11}}{p} \cdot \frac{x_{11}^2}{p^2} \cdot \varphi_1 - \frac{x_{11} \cdot y_{11}}{p^2} \cdot \omega_1 + \frac{y_{11}}{p} \cdot \kappa_1 + \varphi_1 \right) \quad [17]$$

In modo del tutto analogo si ricava il valore della coordinata ym_p :

$$ym_p = (zm_p - zm_{c1}) \frac{x_{11} - y_{11} \cdot \kappa_1 - p \cdot \varphi_1}{-x_{11} \cdot \varphi_1 + y_{11} \cdot \omega_1 - p} =$$

$$\begin{aligned}
&= -h \cdot \left(-\frac{x_{l1}}{p} \cdot \kappa_1 - \frac{y_{l1}}{p} - \omega_1 \right) \cdot \left(\frac{x_{l1}}{p} \cdot \varphi_1 - \frac{y_{l1}}{p} \cdot \omega_1 + 1 \right)^{-1} = \\
&= -h \cdot \left(-\frac{x_{l1}}{p} \cdot \kappa_1 - \frac{y_{l1}}{p} - \omega_1 \right) \cdot \left(-\frac{x_{l1}}{p} \cdot \varphi_1 + \frac{y_{l1}}{p} \cdot \omega_1 + 1 \right)^{-1} = \\
&= -h \cdot \left(-\frac{x_{l1}}{p} \cdot \kappa_1 - \frac{y_{l1}}{p} - \omega_1 + \frac{x_{l1} \cdot y_{l1}}{p} \cdot \varphi_1 - \frac{y_{l1}^2}{p^2} \cdot \omega_1 \right) \quad [18]
\end{aligned}$$

Evidenziando le rotazioni $\omega_1, \varphi_1, \kappa_1$ le relazioni [17] e [18] possono essere riscritte nella seguente forma:

$$\begin{aligned}
xm_p &= h \cdot \left[\frac{x_{l1} \cdot y_{l1}}{p^2} \cdot \omega_1 - \left(1 + \frac{x_{l1}^2}{p^2} \right) \cdot \varphi_1 - \frac{y_{l1}}{p} \cdot \kappa_1 + \frac{x_{l1}}{p} \right] \\
ym_p &= h \cdot \left[\left(1 + \frac{x_{l1}^2}{p^2} \right) \cdot \omega_1 - \frac{x_{l1} \cdot y_{l1}}{p^2} \cdot \varphi_1 + \frac{x_{l1}}{p} \cdot \kappa_1 - \frac{y_{l1}}{p} \right] \quad [19]
\end{aligned}$$

Se si considera ora il secondo fotogramma contenente l'immagine di P di coordinate x_{l2}, y_{l2} si ottengono, per le coordinate xm_p, ym_p le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned}
xm_p &= bx + (h + bz) \cdot \left[\frac{x_{l2} \cdot y_{l2}}{p^2} \cdot \omega_2 - \left(1 + \frac{x_{l2}^2}{p^2} \right) \cdot \varphi^2 - \frac{y_{l2}}{p} \cdot \kappa_2 + \frac{x_{l2}}{p} \right] \\
ym_p &= by + (h + bz) \cdot \left[\left(1 + \frac{x_{l2}^2}{p^2} \right) \cdot \omega_2 - \frac{x_{l2} \cdot y_{l2}}{p^2} \cdot \varphi^2 + \frac{x_{l2}}{p} \cdot \kappa_2 - \frac{y_{l2}}{p} \right] \quad [20]
\end{aligned}$$

I due raggi omologhi C_1I_1 e C_2I_2 si devono incontrare nel punto P o piú genericamente essi devono essere complanari. Questa condizione geometrica si può esprimere analiticamente imponendo che le coordinate ym_p calcolate a partire dai due fotogrammi siano uguali. Uguagliando dunque la seconda delle [19] con la seconda delle [20], nell'ipotesi che i fotogrammi siano quasi nadirali, per cui le componenti by e bz sono dello stesso ordine di grandezza delle rotazioni (i prodotti di tali quantità con le rotazioni e i quadrati di tali quantità sono trascurabili), si ottiene:

$$by + \frac{y_{l2}}{p} \cdot bz + h \cdot \left[\frac{y_{l2} - y_{l1}}{p} - \left(1 + \frac{x_{l1}^2}{p^2} \right) \cdot \omega_1 + \frac{x_{l1} - y_{l1}}{p^2} \cdot \varphi_1 - \frac{x_{l1}}{p} \cdot \kappa_1 + \left(1 + \frac{x_{l2}^2}{p^2} \right) \cdot \omega_2 + \frac{x_{l2} - y_{l2}}{p^2} \cdot \varphi_2 - \frac{x_{l2}}{p} \cdot \kappa_2 \right] \quad [21]$$

Posto $y_{l2} - y_{l1} = py$ si ottiene infine:

$$py = \frac{p}{h} \cdot by + \frac{y_{l2}}{h} \cdot bz + \frac{x_{l1} \cdot y_{l1}}{p} \cdot \varphi_1 - \left(p + \frac{y_{l1}^2}{p} \right) \cdot \omega_1 - x_{l1} \cdot \kappa_1 - \frac{x_{l2} \cdot y_{l2}}{p} \cdot \varphi_2 + \left(p + \frac{y_{l2}^2}{p} \right) \cdot \omega_2 - x_{l2} \cdot \kappa_2$$

[22]

la quantità py è chiamata parallasse d'altezza e l'equazione [22] viene detta equazione della parallasse. Quest'ultima esprime la relazione esistente tra le coordinate immagine y_{l1} e y_{l2} misurabili direttamente sui fotogrammi e otto dei dodici parametri di movimento delle due camere. Di questi 8 parametri bisogna, per quanto già detto, determinarne solo 5. In funzione dei 5 parametri scelti (i tre parametri esclusi vengono considerati nulli) si hanno tradizionalmente due distinti metodi di orientamento relativo del tutto equivalenti:

- orientamento relativo simmetrico: considera incognite le quantità $\varphi_1, \kappa_1, \omega_1, \varphi_2, \kappa_2$ per cui la [22] si trasforma nel seguente modo:

$$py = \frac{x_{l1} \cdot y_{l1}}{p} \cdot \varphi_1 - x_{l1} \cdot \kappa_1 - \frac{x_{l2} \cdot y_{l2}}{p} \cdot \varphi_2 + \left(p + \frac{y_{l2}^2}{p} \right) \cdot \omega_2 - x_{l2} \cdot \kappa_2 \quad [23]$$

- orientamento relativo asimmetrico: considera incognite le quantità $\omega_2, \varphi_2, \kappa_2, by, bz$ per cui la [22] assume la seguente forma:

$$py = \frac{p}{h} \cdot by + \frac{y_{l2}}{h} \cdot bz - \frac{x_{l2} \cdot y_{l2}}{p} \cdot \varphi_2 + \left(p + \frac{y_{l2}^2}{p} \right) \cdot \omega_2 - x_{l2} \cdot \kappa_2 \quad [24]$$

Analizzando nel dettaglio la [23] e la [24] si possono fare alcune considerazioni che confermano le deduzioni fatte precedentemente.

Innanzitutto non compare la componente bx , il che significa che uno spostamento dei centri lungo la loro congiungente non influenza l'orientamento relativo. Inoltre si nota che non compaiono mai le coordinate del punto P preso in considerazione: questo significa che per eseguire l'orientamento relativo non sono necessari i punti di coordinate note ma solo punti le cui immagini omologhe siano ben collimabili su entrambi i fotogrammi. Dopo aver eseguito l'orientamento interno dei due fotogrammi si è in grado di misurare direttamente le coordinate interne delle immagini omologhe di un punto. Eseguendo tale operazione su almeno 5 punti è possibile scrivere il sistema risolvibile utilizzando le equazioni [23] o [24]; tale sistema è lineare per cui facilmente risolvibile in un'unica iterazione. Determinate in questo modo le incognite possibile, utilizzando le equazioni che verranno ricavate nel paragrafo 1.5.3, determinare le coordinate di un qualsiasi punto nel sistema modello. Il modello stereoscopico viene virtualmente formato nella memoria del calcolatore.

Nel problema dell'orientamento relativo è sempre raccomandabile utilizzare un numero maggiore di punti rispetto al minimo necessario. In questo caso il problema viene risolto con il metodo dei minimi quadrati e gli scarti delle equazioni dopo la compensazione rappresentano la parallasse residua sui punti del modello causata dagli inevitabili errori accidentali di misura.

Nella pratica si utilizzano da un minimo di 6 a un massimo di 12 punti disposti in modo omogeneo all'interno della zona di ricoprimento dei fotogrammi facendo sì che tali punti descrivano la zona da restituire in tutte e tre le direzioni.

Partendo dall'equazione [22] si può dimostrare che esistono alcuni casi in cui l'orientamento relativo non fornisce alcuna soluzione. Qualora i punti scelti per eseguire l'orientamento relativo appartengano a un cilindro circolare passante per i centri di presa con asse parallelo alla base di presa, non è possibile eseguire l'orientamento relativo (problema del cilindro critico). Questo caso si può verificare per esempio se l'oggetto da rilevare è una vallata e se i fotogrammi vengono ripresi da un aereo la cui rotta è parallela alla linea di fondovalle. Anche un cilindro conico passante per i centri di presa costituisce una superficie critica per l'orientamento relativo.

1.5.2 – Orientamento assoluto.

L'operazione di orientamento assoluto consiste nel rototraslare e dimensionare il modello stereoscopico in modo che l'intersezione dei raggi omologhi fornisca le coordinate dei punti riferite al sistema oggetto (il sistema cartografico).

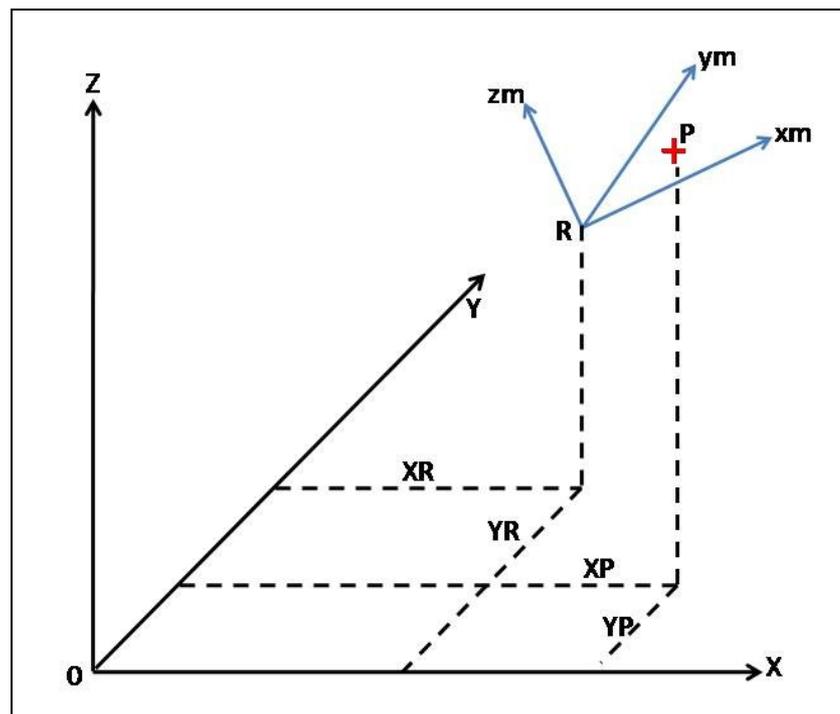


Figura 12 - Sistemi di riferimento nell'orientamento assoluto

Da un punto di vista analitico il problema si configura come la determinazione dei parametri di una rototraslazione spaziale con variazione di scala isotropa (vedi figura 12). Determinati tali parametri, le coordinate di un generico punto P si determinano a partire dalle sue coordinate modello mediante le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} X_P &= (r_{11} \cdot xm_P + r_{21} \cdot ym_P + r_{31} \cdot zm_P) \cdot \lambda + X_R \\ Y_P &= (r_{12} \cdot xm_P + r_{22} \cdot ym_P + r_{32} \cdot zm_P) \cdot \lambda + Y_R \\ Z_P &= (r_{13} \cdot xm_P + r_{23} \cdot ym_P + r_{33} \cdot zm_P) \cdot \lambda + Z_R \end{aligned} \quad [25]$$

dove r_{ij} sono gli elementi della matrice di rotazione (funzione delle tre rotazioni ω, φ, κ) che ruota il sistema modello $[R; xmyzm]$ in un sistema di origine R parallelo al sistema oggetto, λ il fattore di scala, e X_R, Y_R, Z_R le coordinate dell'origine R nel sistema oggetto.

La determinazione dei sette parametri incogniti avviene nel modo consueto: si misurano le coordinate modello di un numero sufficiente di punti di cui sono note le coordinate nel riferimento assoluto.

Questi punti, detti punti di appoggio, dovranno essere disposti in modo omogeneo attorno alla zona da restituire; le condizioni minime per determinare una soluzione coincidono ovviamente con quelle indicate per esecuzione dell'orientamento assoluto, cioè due coppie di coordinate planimetriche e tre coordinate altimetriche di punti non allineati.

Anche in questo caso è preferibile operare con un numero di coordinate note esuberante in modo da poter compensare gli inevitabili errori accidentali di misura.

Una volta misurate le coordinate modello dei punti di appoggio si scrive il sistema risolvibile utilizzando le equazioni [20]. Tali equazioni non sono lineari, per cui occorre determinare una serie di valori approssimati per poter eseguire la linearizzazione del sistema.

Le coordinate terreno dei punti di appoggio si considerano come quantità prive di errore in quanto derivano da operazioni topografiche o fotogrammetriche di precisione più elevata rispetto a quella ottenibile in questa fase del processo fotogrammetrico; inoltre le coordinate modello vengono considerate a peso unitario in quanto derivano da operazioni di misura del tutto equivalenti. Mediante successive iterazioni si procede alla ricerca della soluzione.

Terminate in questo modo le operazioni di orientamento siamo in grado di passare, mediante una serie di successive trasformazioni, dalle coordinate delle immagini omologhe di un punto alle sue coordinate riferite al sistema oggetto. Con i parametri

determinati con l'orientamento interno infatti è possibile trasformare le coordinate strumentali in coordinate interne; queste vengono utilizzate per calcolare le coordinate modello con i parametri ricavati durante l'orientamento relativo e infine con i parametri dell'orientamento assoluto è possibile ricavare le coordinate oggetto.

1.5.3 – Precisione del metodo fotogrammetrico.

Le coordinate oggetto dell'intersezione di una coppia di raggi omologhi possono essere determinate anche a partire dalle equazioni:

$$\begin{aligned} X_P &= X_C + (Z_P - Z_C) \cdot \frac{r_{11} \cdot (x_1 - x_0) + r_{12} \cdot (y_1 - y_0) - r_{13} \cdot p}{r_{31} \cdot (x_1 - x_0) + r_{32} \cdot (y_1 - y_0) - r_{33} \cdot p} \\ Y_P &= Y_C + (Z_P - Z_C) \cdot \frac{r_{21} \cdot (x_1 - x_0) + r_{22} \cdot (y_1 - y_0) - r_{23} \cdot p}{r_{31} \cdot (x_1 - x_0) + r_{32} \cdot (y_1 - y_0) - r_{33} \cdot p} \end{aligned} \quad [26]$$

le quali richiedono la conoscenza dei parametri di orientamento esterno di ogni singolo fotogramma. Le rotazioni ω, φ, κ dipendono dalle rotazioni determinate con l'orientamento relativo e da quelle determinate con l'orientamento assoluto, mentre le coordinate dei centri di proiezione dipendono dalle coordinate che questi avevano durante l'orientamento relativo (variabili a secondo della procedura adottata) e dalle traslazioni calcolate con l'orientamento assoluto.

Consideriamo dunque di conoscere questa doppia serie di parametri dell'orientamento interno di ogni camera.

Considerando l'immagine di un punto P sul primo fotogramma, a partire dalle [26] è possibile determinare le coordinate planimetriche di tale punto:

$$\begin{aligned} X_P &= X_C + (Z_P - Z_C) \cdot \frac{r_{11} \cdot (x_1 - x_0) + r_{12} \cdot (y_1 - y_0) - r_{13} \cdot p}{r_{31} \cdot (x_1 - x_0) + r_{32} \cdot (y_1 - y_0) - r_{33} \cdot p} = X_{C1} + (Z_P - Z_{C1}) \cdot \frac{N_{X1}}{N_{Z1}} \\ Y_P &= Y_C + (Z_P - Z_C) \cdot \frac{r_{21} \cdot (x_1 - x_0) + r_{22} \cdot (y_1 - y_0) - r_{23} \cdot p}{r_{31} \cdot (x_1 - x_0) + r_{32} \cdot (y_1 - y_0) - r_{33} \cdot p} = Y_{C1} + (Z_P - Z_{C1}) \cdot \frac{N_{Y1}}{N_{Z1}} \end{aligned} \quad [27]$$

Le [27] confermano analiticamente la considerazione che con una sola prospettiva centrale di un oggetto non è possibile risalire alle coordinate spaziali di nessun punto a meno che non se ne conosca almeno una.

Consideriamo allora l'immagine del medesimo punto P sul secondo fotogramma scriviamo le equazioni [26] per determinare equazioni planimetriche di P , Analogamente alle [27] avremo:

$$X_P = X_{C2} + (Z_P - Z_{C2}) \cdot \frac{N_{X2}}{N_{Z2}}$$

$$Y_P = Y_{C_2} + (Z_P - Z_{C_2}) \cdot \frac{N_{Y_2}}{N_{Z_2}} \quad [28]$$

Uguagliando la prima delle [27] e la prima delle [28], otteniamo:

$$\begin{aligned} X_{C_1} + (Z_P - Z_{C_1}) \cdot \frac{N_{X_1}}{N_{Z_1}} &= X_{C_2} + (Z_P - Z_{C_2}) \cdot \frac{N_{X_2}}{N_{Z_2}} \Rightarrow \\ Z_P \cdot \left(\frac{N_{X_1}}{N_{Z_1}} - \frac{N_{X_2}}{N_{Z_2}} \right) &= X_{C_2} - X_{C_1} + Z_{C_1} \cdot \frac{N_{X_1}}{N_{Z_1}} - Z_{C_2} \cdot \frac{N_{X_2}}{N_{Z_2}} \Rightarrow \\ Z_P &= \frac{X_{C_2} - X_{C_1} - Z_{C_2} \cdot \frac{N_{X_2}}{N_{Z_2}} + Z_{C_1} \cdot \frac{N_{X_1}}{N_{Z_1}}}{\frac{N_{X_1}}{N_{Z_1}} - \frac{N_{X_2}}{N_{Z_2}}} \quad [29] \end{aligned}$$

Sostituendo tale valore di Z_P nelle [27] o nelle [28] è possibile determinare le coordinate planimetriche del punto P .

Supponiamo ora di utilizzare due fotogrammi ripresi in modo che i loro sistemi interni siano paralleli al sistema oggetto e che quest'ultimo abbia origine nel primo centro di presa e asse delle X passante per il secondo centro di presa. In questo caso molto particolare i valori dei due fotogrammi risulteranno:

$$\begin{aligned} \omega_1 = \varphi_1 = \kappa_1 &= 0 & \omega_2 = \varphi_2 = \kappa_2 &= 0 \\ X_{C_1} = Y_{C_1} = Z_{C_1} &= 0 & X_{C_2} &= b & Y_{C_2} = Z_{C_2} &= 0 \quad [30] \end{aligned}$$

Questo particolare schema di presa si chiama schema normale: gli assi di presa sono perpendicolari alla base di presa e quindi paralleli tra loro.

Le matrici di rotazione dei due fotogrammi sono uguali alla matrice unitaria:

$$R_1 = R_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad [31]$$

Supponiamo ancora per semplicità:

$$x_{01} = y_{01} = 0 \quad x_{02} = y_{02} = 0$$

In questo caso particolare le [27] assumono la seguente forma:

$$X_P = -Z_P \cdot \frac{x_{11}}{p} \quad Y_P = -Z_P \cdot \frac{y_{11}}{p} \quad [32]$$

e le [28] diventano:

$$X_P = b - Z_P \cdot \frac{x_{l2}}{p} \quad Y_P = -Z_P \cdot \frac{y_{l2}}{p} \quad [33]$$

Confrontando la seconda delle [32] con la seconda delle [33] si deduce che nel caso di presa normale le coordinate y_1 delle immagini omologhe di un qualsiasi punto P sono uguali e quindi non esiste parallasse lungo l'asse delle y .

Con il metodo prima visto ricaviamo dalle [32] e dalle [33] le coordinate oggetto di P :

$$-Z_P \cdot \frac{x_{l1}}{p} = b - Z_P \cdot \frac{x_{l2}}{p} \Rightarrow Z_P = \frac{b}{\frac{x_{l2}}{p} - \frac{x_{l1}}{p}} = \frac{p \cdot b}{x_{l2} - x_{l1}}$$

$$X_P = -Z_P \cdot \frac{x_{l1}}{p} \quad Y_P = -Z_P \cdot \frac{y_{l1}}{p} \quad [34]$$

Le coordinate oggetto di P sono misure indirette funzione delle coordinate immagine misurate direttamente sui fotogrammi. Avvalendosi dei metodi statistici possibile determinare gli scarti quadratici medi delle coordinate oggetto rilevate con il metodo fotogrammetrico.

Sia $\sigma = \sigma_x = \sigma_y$ lo scarto quadratico medio delle misure di coordinate immagine:

$$\sigma_{x_{l2}-x_{l1}} = \sigma \cdot \sqrt{2} \quad [35]$$

Se consideriamo p e b quantità prive di errore a partire dalla prima delle [34], lo scarto quadratico medio della coordinata Z risulta:

$$\sigma_z = \frac{p \cdot b}{(x_{l2} - x_{l1})^2} \cdot \sigma_{x_{l2}-x_{l1}} = \frac{\sqrt{2} \cdot p \cdot b}{(x_{l2} - x_{l1})^2} \cdot \sigma \quad [36]$$

Dalla prima delle [32] risulta:

$$x_{l2} - x_{l1} = \frac{p \cdot b}{Z_P} \quad [37]$$

per cui:

$$\sigma_z = \frac{\sqrt{2} \cdot p \cdot b}{(x_{l2} - x_{l1})^2} \cdot \sigma = \frac{\sqrt{2} \cdot p \cdot b}{p^2 \cdot b^2} \cdot Z_P^2 \cdot \sigma = \frac{\sqrt{2} \cdot Z_P^2}{p \cdot b} \cdot \sigma \quad [38]$$

La quantità b/Z_P è chiamata rapporto di base, mentre la quantità Z_P/p rappresenta l'inverso del rapporto di scala $1/n$ del fotogramma ossia il denominatore n di tale rapporto.

In definitiva quindi lo scarto quadratico medio della coordinata Z rilevata fotogrammetricamente da due fotogrammi ripresi secondo lo schema normale risulta:

$$\sigma_z = n \cdot \frac{Z_p}{b} \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma \quad [39]$$

Inoltre dalla seconda e dalla terza delle [34] si ricavano in modo analogo gli scarti quadratici medi delle coordinate planimetriche:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sqrt{\left(\frac{x_{ll}}{p}\right)^2 \cdot \sigma_z^2 + \left(\frac{Z_p}{p}\right)^2 \cdot \sigma^2} = \sqrt{\left(\frac{x_{ll}}{p}\right) \cdot \sigma_z^2 + n^2 \cdot \sigma^2} = n \cdot \sigma \sqrt{\frac{2 \cdot x_{ll}^2}{p^2} \cdot \frac{Z_p^2}{b^2} + 1} \\ \sigma_y &= \sqrt{\left(\frac{y_{ll}}{p}\right)^2 \cdot \sigma_z^2 + \left(\frac{Z_p}{p}\right)^2 \cdot \sigma^2} = \sqrt{\left(\frac{y_{ll}}{p}\right) \cdot \sigma_z^2 + n^2 \cdot \sigma^2} = n \cdot \sigma \sqrt{\frac{2 \cdot y_{ll}^2}{p^2} \cdot \frac{Z_p^2}{b^2} + 1} \end{aligned} \quad [40]$$

Analizzando con attenzione la [39] e le [40] si possono fare alcune considerazioni pratiche:

- a parità di rapporto di base le precisioni sono direttamente proporzionali alla scala del fotogramma;
- a parità di scala del fotogramma le precisioni nella direzione delle Z (lungo l'asse di presa) sono inversamente proporzionali al rapporto di base;
- le tre coordinate tendono ad avere la medesima precisione con un rapporto di base pari a 1. In tutti gli altri casi la precisione delle coordinate planimetriche è maggiore rispetto a quella della coordinata Z ;
- a parità di base di presa la precisione della coordinata Z è direttamente proporzionale al quadrato della distanza di presa.

Lo schema di presa normale che abbiamo considerato rappresenta il metodo che fornisce le migliori precisioni in fotogrammetria.

1.6 - Triangolazione aerea.

Lo scopo della triangolazione aerea è produrre punti di appoggio per la stereorestituzione e ridurre perciò le operazioni di rilievo in zona operativa, con l'ausilio dello stereorestitutore (strumento che consente la visione stereoscopica e la restituzione). La triangolazione aerea viene eseguita per poter ridurre i tempi e i costi dell'appoggio terrestre, riducendo i punti rilevati a terra con il sistema tradizionale, utilizzando poligoni e livellazioni.

Lo strumento utilizzato per questa operazione è lo stereorestitutore quindi questo consente di poter operare in qualsiasi posto dotato di tale strumento.

Lo stereo restitutore si utilizza per generare i punti di appoggio di un blocco con più strisciate.

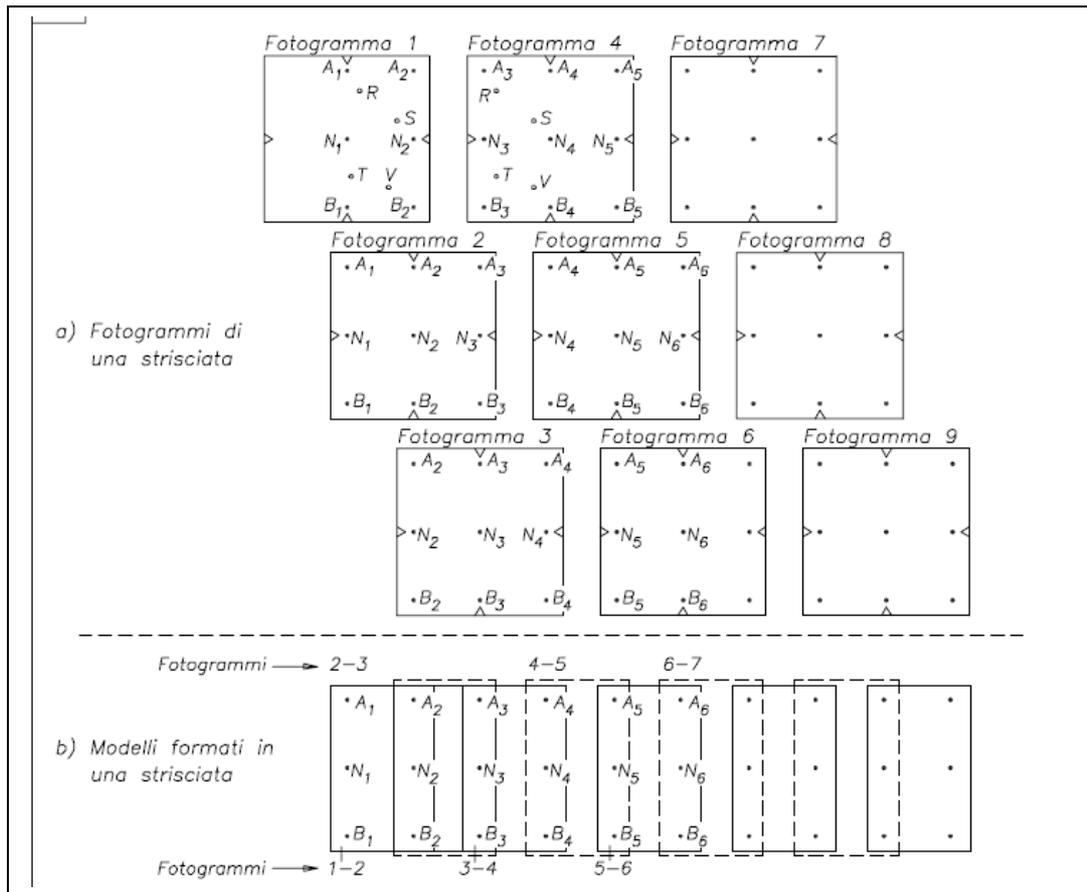


Figura 13 - Disposizione dei punti fotografici di appoggio

Osservando la figura 10 si può constatare che il punto A1 è presente sui fotogrammi 1 e 2, ed è utilizzato per la stereo restituzione del modello stereoscopico formato dai fotogrammi 1, 2, questo vale per il primo fotogramma. Mentre per gli altri fotogrammi un punto viene utilizzato per la stereo restituzione di due modelli stereoscopici. Infatti il punto A3 è presente sui fotogrammi 2, 3, 4, ed è utilizzato per la stereo restituzione dei due modelli formati dai fotogrammi 2, 3 e 3, 4. I punti aggiunti R, S, T sono punti integrativi con ottime caratteristiche di visibilità e reperibilità su manufatti ben visibili e accessibili, per cui sarebbe illogico non utilizzarli, anche se non occupano nel fotogramma posizioni laterali, centrali e susseguenti.

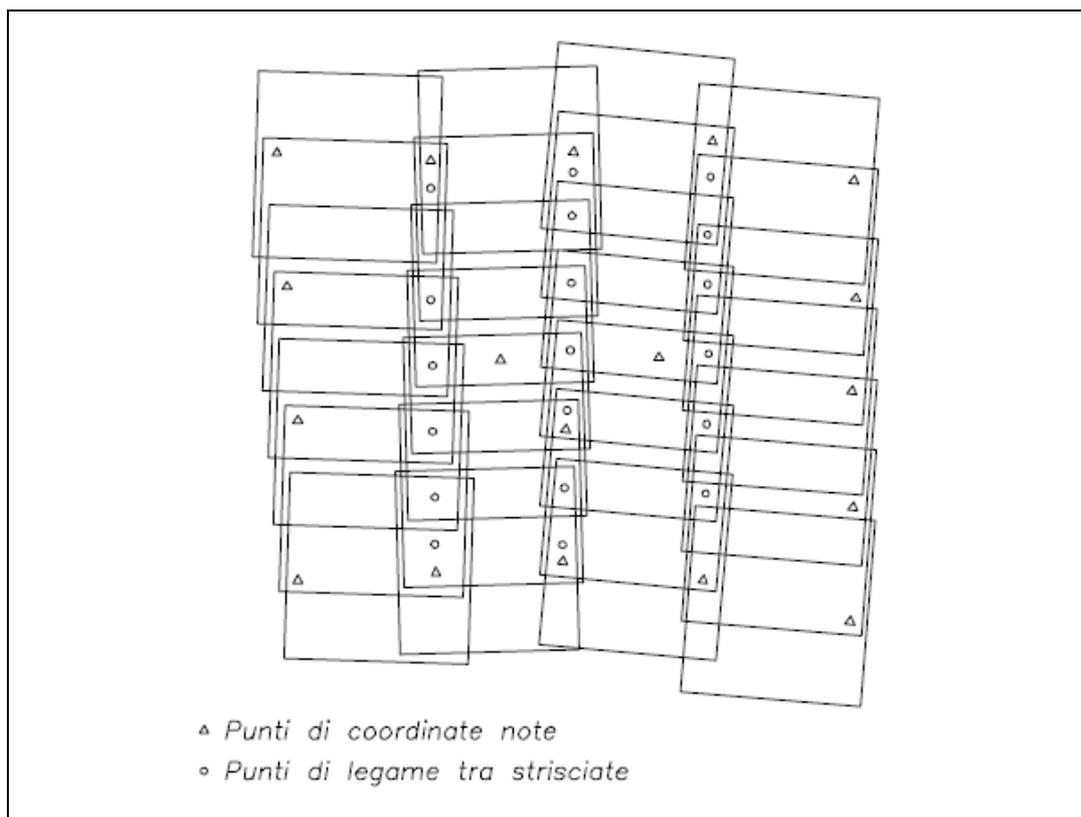


Figura 14 - Disposizione dei punti di appoggio e di legame

Di solito si utilizza la triangolazione aerea per modelli indipendenti. Per poter eseguire la triangolazione aerea è sufficiente avere almeno 5 punti noti, rilevati a terra, sul primo e sull'ultimo modello stereoscopico delle strisciate di un blocco. meglio se si può disporre di alcuni punti noti a metà delle strisciate e comunque almeno ogni 6-10 modelli (figura 11). Si scelgono punti fotografici, cioè fotograficamente ben visibili e stereorestituibili, almeno 5 per ogni modello stereoscopico, distribuiti su tutte le coppie dei fotogrammi. Bisogna porre attenzione a scegliere punti contenuti e utilizzabili anche contemporaneamente dalle coppie delle strisciate adiacenti parallele, dunque punti contenuti nella fascia di sovrapposizione laterale.

Con gli orientamenti relativi dei modelli stereoscopici adiacenti si determinano le coordinate lastra di tutti i punti fotografici. Con questo procedimento si determinano anche le coordinate lastra di tutti i punti rilevati a terra. Con tutte queste coordinate lastra, immesse nel programma di triangolazione aerea e collegate alle coordinate assolute dei punti rilevati a terra, si calcolano le coordinate assolute dei punti rilevati a terra, si calcolano e compensano le coordinate assolute di tutti i punti fotografici del blocco.

Il programma della triangolazione aerea esegue rototraslazione con il metodo dei minimi quadrati, cioè calcola per ogni punto l'ellissoide di sbandamento e i valori

residui. Con questo sistema si potranno eliminare unti che risultano poco idonei, oppure aggiungerne altri o correggere le letture inserite, il tutto in maniera interattiva al fine di poter raggiungere la migliore soluzione della rete.

Per migliorare la compensazione dei punti fotografici e irrigidire maggiormente la rete della triangolazione aerea si possono eseguire alcune strisciate trasversali alle strisciate longitudinali del blocco.

Capitolo 2 – Costruzione di file cartografici

2.1 - Introduzione.

Dopo aver ottenuto il modello fotogrammetrico per giungere alla vera e propria cartografia bisogna eseguire una serie di operazioni di tipo stereoscopico e grafico molto delicate. Questa fase di lavoro si apre con la fase di restituzione dove l'operatore attraverso un sistema di visione stereoscopica rileva i vari elementi caratteristici del territorio, dopo questa operazione si va ad agire graficamente sul file precedentemente ottenuto, per migliorare l'aspetto grafico della carta. Oltre al solita rappresentazione al tratto un territorio può essere esplorato anche attraverso altre rappresentazioni quali modelli digitali del terreno o ortofoto.

2.2 – Restituzione grafica e numerica.

Al termine di tutte le operazioni preliminari, viste nel precedente capitolo, si comincia la fase di restituzione. In questa fase dal modello stereoscopico generato come visto nel precedente capitolo, si cominciano a tracciare graficamente gli elementi caratteristici della porzione di territorio in oggetto (delineamento confini di proprietà, tracciamento edifici, ec.), avvalendosi di dispositivi hardware in grado di visualizzare il modello in stereoscopia collegati a PC aventi software dedicati.

Generalmente l'hardware dedicato a tale scopo, e costituito da un monitor ausiliario che abbia le seguenti caratteristiche:

- grande formato (almeno 17’’);
- alta risoluzione (almeno 1024 X 768 pixel);
- collegamento ad una scheda grafica di elevata capacità (almeno 1Mb) e alte prestazione firmware (zoom, paning).

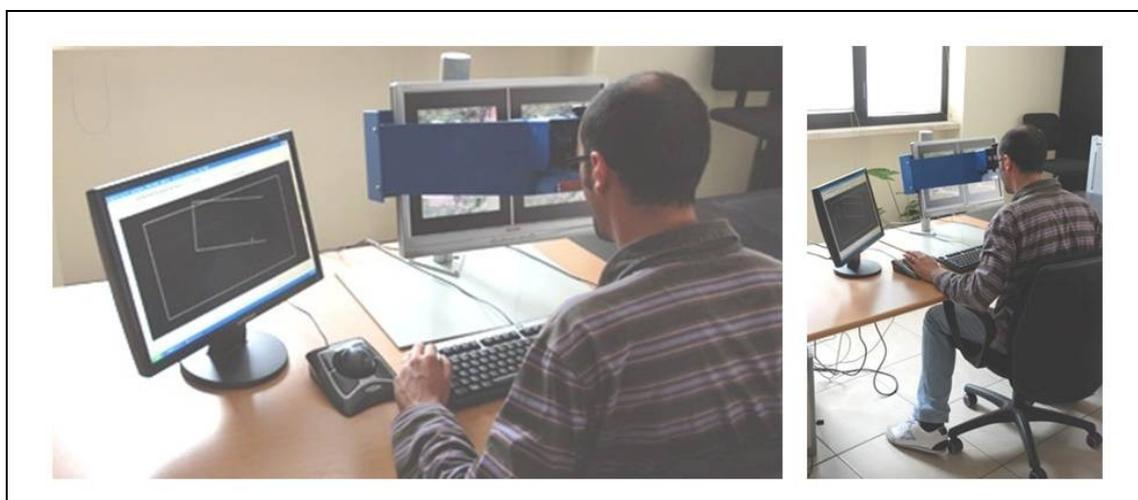


Figura 15 - Esempio di hardware per la restituzione (Stereo Pro della Menci Software)

In questa fase l'operatore lavora solo sulla rappresentazione grafica del territorio a video per ottenere il file di restituzione, l'obiettivo è creare un file di tipo vector a cui siano collegate informazioni varie sulle diverse entità che rappresentano gli elementi che si incontrano sul modello fotogrammetrico.

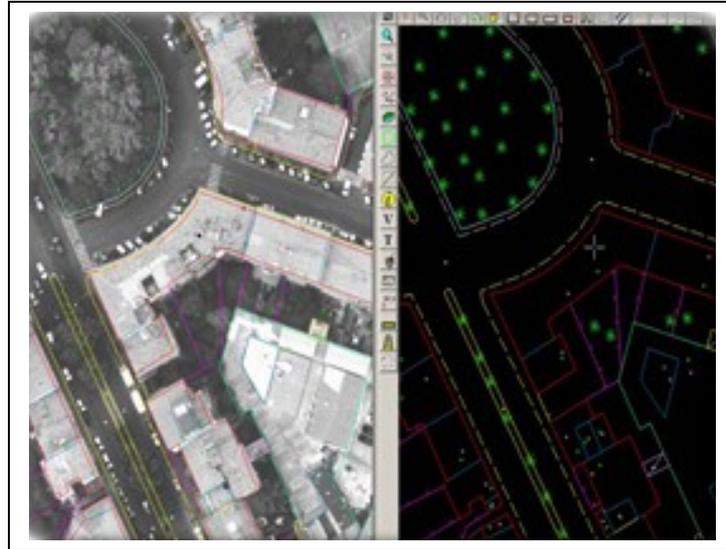


Figura 16 - Esempi di file durante la fase di restituzione

2.2.1 – File ausiliari

Per poter realizzare il file di restituzione abbiamo la necessità di avere vari files ausiliari, questi contengono parametri di impostazione necessari al lavoro di restituzione e riguardano la codifica delle entità, l'attribuzione dei colori e altre grandezze.

Generalmente sono files in formato ASCII e quindi possono essere trattati tramite editor o attraverso gli strumenti che mette a disposizione il software scelto per la restituzione.

I files ausiliari che si incontrano nei maggiori software di restituzione sono:

- file dei codici: contiene la descrizione alfanumerica dei codici da attribuire alle entità, il corrispondente codice di colore associato e la descrizione estesa del significato del codice. Esempio:

CODICE	COLORE	DESCRIZIONE
FAB01002	12	muro perimetrale di fabbricato civile
STR0200104		limite di strada

Il primo campo contiene una stringa alfanumerica che rappresenta il codice assegnato all'entità; il secondo campo contiene il colore con cui viene disegnato l'elemento e il terzo campo contiene la descrizione della tipologia dell'entità.

Quindi quando l'operatore deve restituire una certa entità per prima cosa dovrà fornire il suo codice. Molti software consentono di semplificare il lavoro, effettuando la ricerca dei codici anche attraverso la loro descrizione, in modo che il restituitista non dovrà ricordare a memoria tutti i codici.

Nel caso in cui il codice non viene trovato bisogna che l'addetto a questa fase lo inserisca, dato che questo file non è da consegnare alla committenza, le codifiche fin qui assegnate possono anche non essere uguali a quelle del file finale.

- File dei colori: In questo file viene effettuato l'abbinamento tra codice delle entità e relativo colore di rappresentazione. I criteri di scelta saranno puramente estetico-soggettivi, essendo la rappresentazione finale legata alle prescrizioni del Capitolato e quindi alle caratteristiche del sistema di gestione finale della cartografia numerica.

Il formato di questo file sarà del tipo:

INDICE	%ROSSO	%VERDE	%BLU
1	20	80	0
2	10	65	65
3	100	0	0

Il campo INDICE corrisponde al campo COLORE del file dei codici; i tre campi successivi esprimono il colore come composizione percentuale delle tre componenti fondamentali (Red-Green-Blu).

- File dei parametri: contiene varie grandezze, essenzialmente di tipo geometrico, molto importanti ai fini del controllo della restituzione. La natura di questi parametri è fortemente variabile in funzione delle caratteristiche del software, i più importanti sono:

tolleranza di identificazione, tolleranza di riattacco planimetrico, tolleranza di riattacco altimetrico, unità di misura delle coordinate, numero di cifre decimali, traslazione delle coordinate, tolleranza planimetrica di allineamento, tolleranza planimetrica di squadratura, tolleranza angolare di squadratura, passo di spline, tolleranza di chiusura, tolleranza di fine polline.

- Libreria grafica dei simboli: contiene la descrizione grafica, e quindi la loro forma di rappresentazione sul video, degli elementi puntuali. Nel file di restituzione i simboli sono descritti solo dal codice e dalle coordinate del punto.

- Libreria grafica delle linee: riguarda l'effettiva rappresentazione delle linee (tratteggi, spessori, ec.) è un problema che non riguarda il restituitista infatti in questa fase le linee vengono tutte rappresentate a tratto continuo.

- File delle caratteristiche dei testi: rappresenta i tipi di font utilizzate, anche questa fase non va presa in considerazione durante la restituzione.

2.2.2 – Restituzione delle entità.

Dopo le fasi preliminari, si carica il modello stereoscopico e si esegue la “mappatura” del puntatore sul video. Questa è rappresentata da una piccola croce (o altro simbolo) che ha il centro coincidente con il punto corrente collimato sul modello stereoscopico.

Questa operazione consiste nella definizione del rapporto esistente tra il sistema di riferimento terreno X_T, Y_T e il sistema video x_V, y_V , quindi vi è un'associazione tra metri e pixel.

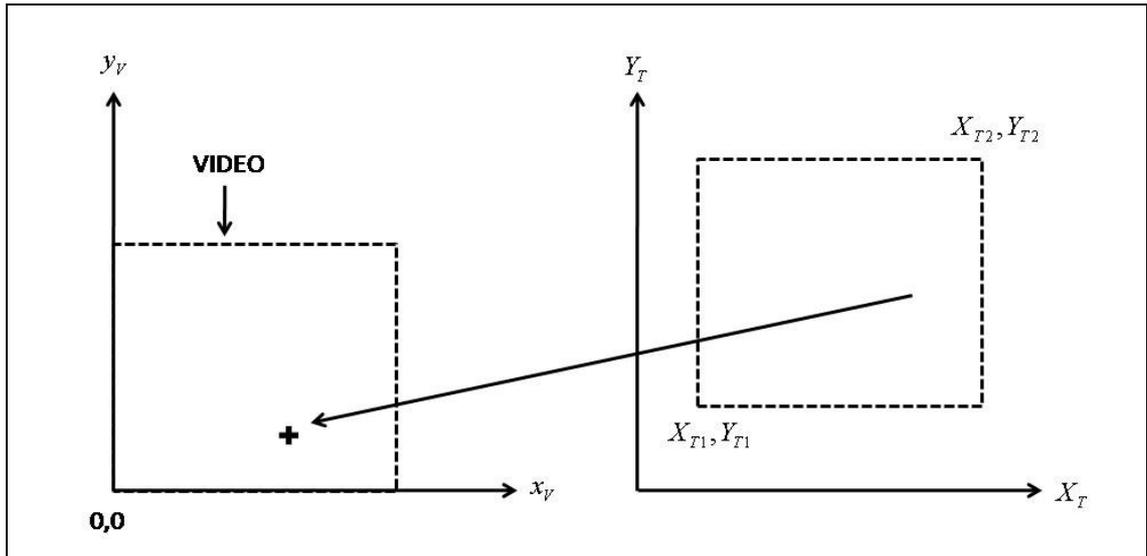


Figura 17 - Definizione puntatore sistema video - sistema terreno

Dovendo rappresentare sul video l'area terreno definita dai punti $X_{T1}, Y_{T1} - X_{T2}, Y_{T2}$, la formula di trasformazione nel sistema video per ogni punto terreno sarà:

$$x_V = (X_T - X_{T1}) \cdot S \qquad y_V = (Y_T - Y_{T1}) \cdot S \qquad [41]$$

dove S è il fattore di scala ed è pari a:

$$S = \text{MIN} \left(\frac{x_{V \max}}{X_{T2} - X_{T1}}, \frac{y_{V \max}}{Y_{T2} - Y_{T1}} \right) \qquad [42]$$

$x_{V \max}$ e $y_{V \max}$ sono le dimensioni massime in pixel del video.

La definizione dell'area di terreno da restituire sarà visualizzata di volta in volta attraverso funzioni di zoom e di panning o mediante l'impostazione del valore di scala preferito.

Dopo la definizione della mappatura del puntatore si passa alla vera e propria restituzione. Gli elementi da restituire possono essere puntuali, lineari, areali.

Gli elementi puntuali, quelli costituiti da un solo punto, generalmente rappresentano quelle entità che necessitano, oltre che di una rappresentazione grafica, anche di un testo associato come i punti quotati. L'associazione del testo al punto non avviene in fase di restituzione ma in quella di editing che successivamente sarà illustrata.

L'operatore per poter restituire entità puntuali, necessita di un sistema che gli consenta con un clic del mouse di registrare tale punto.

Gli elementi lineari possiamo dividerle in due categorie:

- linee spezzate (poligonalì costituite da segmenti rettilinei)
- linee curve continue

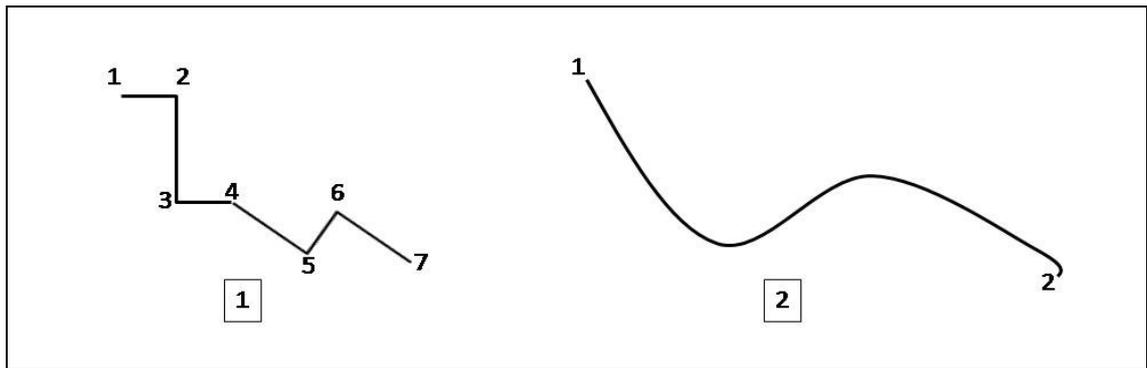


Figura 18 - Tipologia di linee

Nel primo caso l'operatore deve poter battere una serie di punti e al termine deve avere la possibilità di far capire al sistema che la linea è terminata e il tutto deve essere registrato. Questa tipologia di linee è utilizzata per la restituzione di elementi dove c'è una variazione di quota.

Nel secondo caso facciamo riferimento ad entità con quota costante (ad esempio curve di livello) o con quota variabile ma con un andamento continuo (fiumi, strade, ec.).

Per quanto riguarda le linee curve, dato che in cartografia numerica non sono riconosciute, abbiamo bisogno di un sistema che discretizzi o campioni tale linea. È necessario che il computer sia in grado di campionare automaticamente le curve.

Per far ciò si possono utilizzare due metodi, uno consiste nel registrare i punti sulla curva a intervalli di spazio costanti.

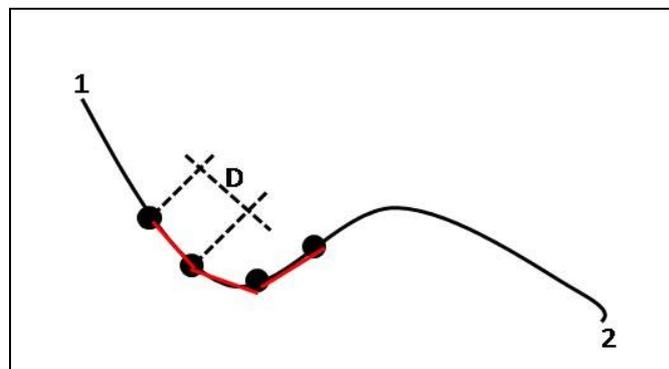


Figura 19 - Discretizzazione a intervalli di spazio costanti

Come possiamo notare, con questo metodo, la spezzata risultante approssima bene la curva originale nelle zone con raggio di curvatura grande ma quando questo diminuisce, gli scostamenti dal tracciato diventano sensibili. Nel caso in cui la curva da inseguire sia una curva di livello, la perdita di tale precisione potrebbe non essere importante, perché generalmente nei capitoli si da una tolleranza planimetrica abbastanza ampia ma se stiamo tracciando il bordo di una strada questa può indurci ad errori non accettabili.

Il metodo che minimizza questo tipo di errore è il campionamento per vettori, Con questo metodo si ha l'opportunità di avere una frequenza di campionamento variabile in

base al raggio di curvatura e offre quindi il vantaggio, oltre che di una più fedele rappresentazione dell'entità, anche di non eccedere nel numero di punti registrati.

Il metodo consiste nell'introdurre, oltre al parametro distanza massima D anche un parametro angolare che ha il seguente significato: quando la deviazione angolare rispetto alla direzione individuata dagli ultimi due punti registrati è superiore al parametro angolare, si esegue la registrazione.

L'entità areali presentano un problema concettuale, bisogna distinguere tra aree connesse e aree non connesse.

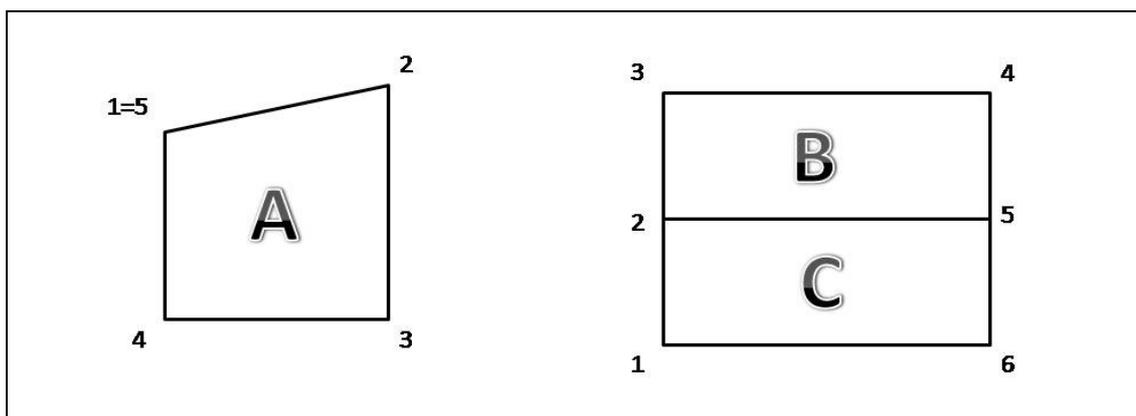


Figura 20 - Aree non connesse e connesse

L'area A di figura 5 è non connessa in quanto i vertici che la compongono non condividono nessuna altra area; le aree B e C sono connesse perché i punti 2 e 5 sono comuni alle due aree.

L'area A viene restituita senza alcun problema, si battono i vari punti e si dà un segnale per chiudere l'entità.

Per quanto riguarda le aree B e C si suppone che l'area B è un fabbricato e l'area C un marciapiede, se andiamo a restituire l'area B battendo i punti 2, 3, 4, 5 attribuendogli il codice fabbricato e poi battiamo i punti 1, 2, 5, 6 dando il codice marciapiede, avremmo che il segmento 2, 5 avrà un doppio codice, cosa che in cartografia numerica non è possibile in quanto ogni entità deve avere un solo codice. La soluzione a tale problema sta nel restituire prima l'area B, battendo quindi i punti 2, 3, 4, 5 e poi battendo come polilinea i punti 2, 1, 6, 5.

Nel caso in cui le quote di B e C sono differenti, si risolve il problema battendo un punto quotato all'interno dell'area, in questo modo anche la quota diventerà un attributo dell'area e la linea 2-5 comparirà una sola volta ma sarà puntata da due aree a quota diversa.

2.2.3 – Altre funzioni di restituzione.

Durante la fase di restituzione è possibile eseguire altre funzioni oltre a quelle fondamentali già citate, questo è possibile perché queste funzioni richiedono di operare in linea con lo strumento di restituzione. Quindi oltre alla vettorializzazione degli elementi è possibile eseguire:

- parametratura,
- sezioni e profili,
- acquisizione di DTM,
- fusione – taglio.

La parametratura è un livello grafico di riferimento per l'operatore ed è rappresentata da una magli regolare sovrapposta alla restituzione. Come nella cartografia tradizionale ha un passo pari a 10 cm carta; per determinare il passo in valore terreno si deve tener conto della scala, ad esempio se abbiamo un cartografia in scala 1:500 il passo sarà 50 m.

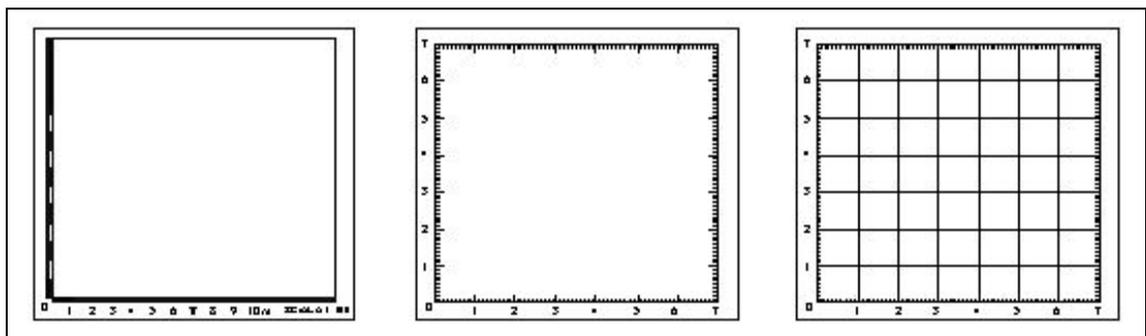


Figura 21 - Esempi di parametratura

La maggior parte dei software consente di creare la parametratura automaticamente, generalmente richiedono la definizione degli angoli estremi e il passo della maglia. Se il software non consente ciò è possibile giungere al risultato attraverso un semplice disegno CAD.

Sfruttando la possibilità propria del restitutore, una volta eseguite tutte le operazioni di orientamento, di posizionarsi automaticamente su un punto qualsiasi del terreno, è possibile acquisire, in modo più o meno automatico, sezioni trasversali e/o profili del terreno.

Nel caso delle sezioni trasversali i parametri da fornire sono:

- Coordinate del punto $P1$ di inizio delle sezioni;
- Coordinate del punto $P2$ di fine delle sezioni;
- Distanza DA tra le sezioni (questo parametro determinerà il numero di sezioni che verranno acquisite lungo l'asse $P1-P2$);
- Ampiezza $2 \cdot DL$ delle sezioni.

Vedi figura 23.

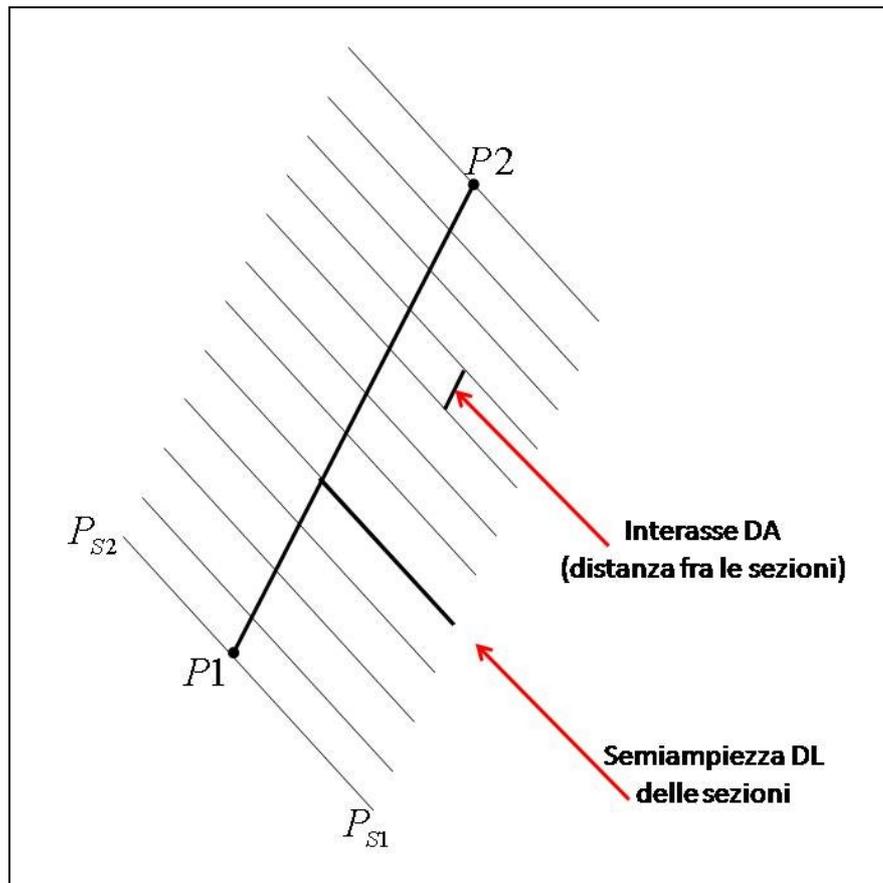


Figura 22 - Rappresentazione nel piano X, Y terreno dello schema di acquisizione di una serie di sezioni trasversali

All'inizio, per prima cosa vengono acquisite le coordinate X_{S1}, Y_{S1}, Z_{S1} del punto di inizio, dopodiché incomincia la scansione della sezione.

Tale scansione può avvenire sia in modalità automatica che in modalità manuale. La registrazione dei punti attraverso la sezione può avvenire secondo tre modi:

- per intervalli di spazio costanti lungo la direzione della sezione,
- per dislivelli costanti,
- su comando dell'operatore.

Ritornando allo schema di figura 23 terminata la prima sezione, bisogna posizionarsi sul punto di inizio della sezione successiva per ripetere il ciclo di acquisizione fino ad esaurimento di tutte le sezioni predefinite.

Per quanto riguarda i profili, i parametri da fornire preventivamente sono le coordinate dei punti P_1, \dots, P_6 definenti piani metricamente la polyline che costituisce il profilo.

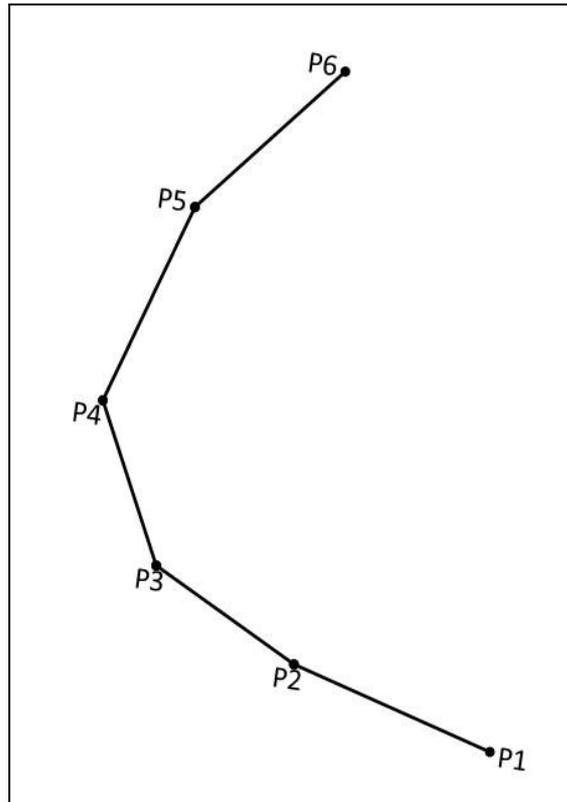


Figura 23 - Rappresentazione nel piano X, Y terreno dello schema di acquisizione di un profilo
 L'acquisizione dei punti avviene in modo del tutto analogo a quanto visto per le sezioni, considerando appunto come assi di singole sezioni i segmenti $P_1 - P_2, P_2 - P_3, \dots, P_5 - P_6$.

Esistono anche funzioni per la generazione di sezioni o profili senza l'ausilio del restitutore. Queste presuppongono che l'altimetria sia già stata restituita in quanto le sezioni vengono ricavate per l'intersezione con le curve di livello.

Considerando la figura 9, vediamo come bisogna operare:

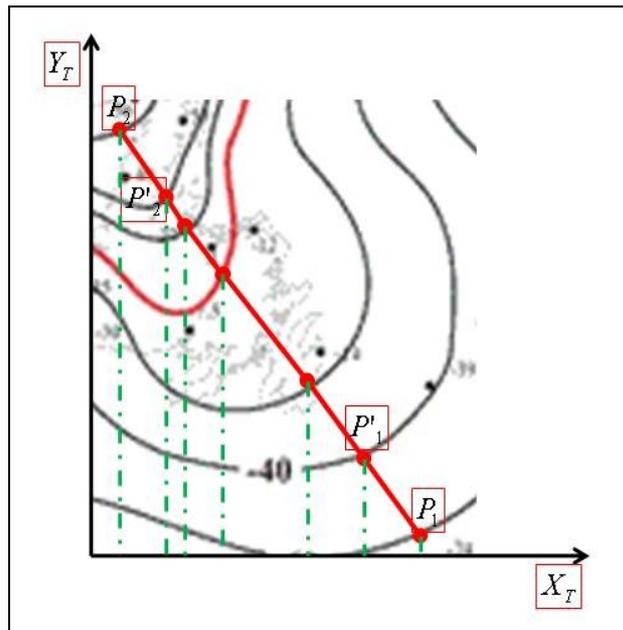


Figura 24 - Operazioni preparatorie per il profilo da curve di livello

- L'operatore batte due punti P_1 e P_2 che definiscono i due estremi della sezione,
- Vengono calcolate tutte le intersezioni X_n, Y_n, Z_n del segmento $P_1 - P_2$ con le curve di livello,
- I punti di intersezione vengono ordinati per distanze crescenti a partire da P_1 ,
- Gli estremi P_1 e P_2 vengono scartati (P'_1 e P'_2 saranno i nuovi estremi della sezione),
- In un opportuna zona del video viene disegnata la sezione.

Il DTM (di cui se ne parlerà più approfonditamente nel paragrafo 2.5) può essere definito attraverso un seminato di punti, più o meno regolare, dove di ogni punto si conoscono le proprie coordinate X, Y, Z, e quindi rappresenta l'andamento plan-altimetrico del territorio in oggetto.

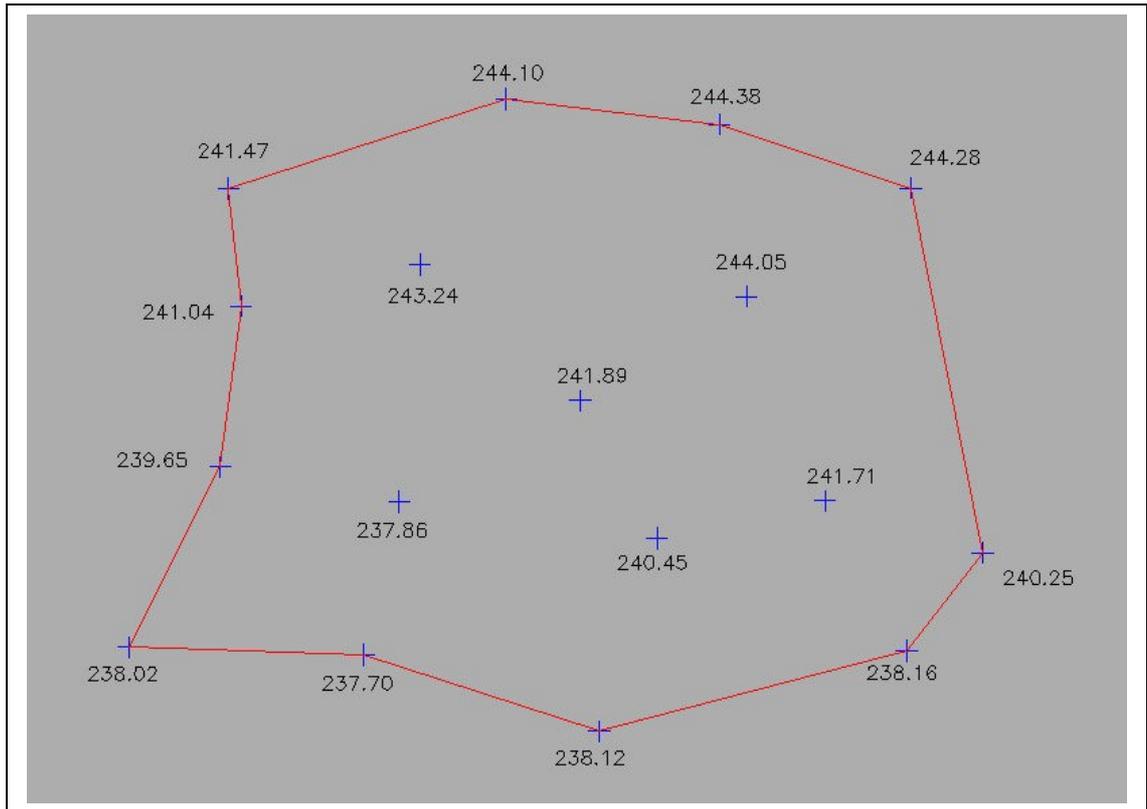


Figura 25 - Esempio di seminato di punti con relative quote

I software dedicati consentono di costruire la maglia del DEM in maniera automatica o semiautomatica. Esistono principalmente due metodi, uno consiste nel definire il passo della maglia e automaticamente il software ci darà le coordinate X, Y, Z di punti della maglia ottenendo la coordinata Z in stereoscopia. Un altro metodo è quello di battere in stereoscopia diversi punti, una volta selezionati otterremo il DTM.

La fusione è quella funzione che permette di assemblare più modelli in unico file di restituzione che copre l'intera unità cartografica.

Il taglio è la funzione che permette di ritagliare dall'insieme dei modelli assemblati l'area netta corrispondente all'unità cartografica.

Le funzioni appena descritte vengono svolte in questa fase perché necessitano di essere realizzate mediante modello stereoscopico, e questa è l'unica fase in cui si opera in stereoscopia.

2.2.4 – Il file di restituzione.

Il risultato delle operazioni descritte nei precedenti paragrafi è il file di restituzione, esso costituisce la rappresentazione numerica di ciò che appare graficamente sul video all'operatore e ha le seguenti caratteristiche:

- è un file di natura sequenziale: le entità via via restituite si accodano alle precedenti;

- i records che lo compongono sono di lunghezza variabile: un'entità può essere costituita da un singolo punto (simbolo) fino a migliaia di punti (curve di livello acquisite in continuo);
- è un file di tipo binario: questo lo rende indipendente dal formato di rappresentazione delle variabili numeriche e quindi dalla precisione richiesta ma dipendente dall'hardware usato (CPU); quest'ultima caratteristica non rappresenta un inconveniente perché può essere convertito in formato di tipo ASCII.

Le caratteristiche di sequenzialità e variabilità delle dimensioni del record si conciliano male con le esigenze di gestione dinamica richieste da un'attività fortemente interattiva come la restituzione numerica.

Per questo motivo è i software cartografici utilizzano un tipo di struttura del dato che consente un accesso diretto ed immediato all'entità.

L'operatore potrà, quindi, selezionare una qualsiasi entità dal video tramite il mouse, modificarne le caratteristiche logiche e/o geometriche, variarne la lunghezza o addirittura scomporlo in altri elementi.

Per semplificare la gestione del file di restituzione lo si compone di due files separati ma strettamente connessi: il file delle descrizioni e il file delle coordinate.

Nel file delle descrizioni a ogni record è associata un entità, tutti i records hanno la stessa lunghezza indipendentemente dell'entità associata. Tutti i records hanno lo stesso tipo di contenuto e cioè:

- numero progressivo del record nel file;
- codice tipologico dell'entità associata al record;
- puntatore associato a un eventuale altro file contenente altri parametri associati alle entità;
- numero di vertici di cui è costituita l'entità;
- numero di colore con cui viene rappresentata sul video l'entità;
- codice che stabilisce la provenienza dell'entità associata (restituzione fotogrammetrica, digitalizzazione, rilievo a terra, ecc.);
- coordinate del rettangolo di massimo ingombro;
- numero di record del file delle coordinate che contiene le coordinate del primo punto dell'entità.

Nel file delle coordinate è costituito da records di lunghezza fissa di 4 campi aventi la seguente composizione:

- numero di colore con cui viene rappresentata l'entità sul video;

- valore della coordinata est;
- valore della coordinata nord;
- valore della coordinata quota.

Mediante un'opportuna funzione di conversione è possibile generare il file di restituzione esterno in formato ASCII che assomma in sé le informazioni del file delle descrizioni e del file delle coordinate.

2.3 – Editing grafico.

L'editing grafico sulla cartografia numerica ha due scopi principali:

- intervenire sulle incongruenze geometriche create durante la fase di restituzione e correggere gli eventuali errori di codifica delle entità;
- predisporre un file, mediante un'opportuna ristrutturazione e l'eventuale aggiunta di informazioni logiche e/o connessioni topologiche, alle fasi finali che lo trasformeranno nel file di consegna.

La gestione grafica della cartografia numerica non presenta sostanzialmente delle problematiche molto diverse da quelle che troviamo risolte in un qualsiasi sistema CAD; si tratta comunque di “oggetti” costituiti da primitive geometriche di base con caratteristiche, tutto sommato, indipendenti dalla loro natura logica. Possiamo sintetizzare nei seguenti punti le caratteristiche principali di un “oggetto” di cartografia numerica rispetto ad altre applicazioni CAD:

- particolare importanza e significato della coordinata Z;
- Complessa organizzazione relazionale-gerarchica delle primitive grafiche;
- Intima connessione tra significato geometrico e significato logico del dato;
- Sistema di codifica delle entità più complesso e quindi di più difficile gestione.

In passato questa fase veniva eseguita completamente su software di tipo CAD, attualmente il mercato mette a disposizione diversi software cartografici con specifiche funzioni CAD per l'editing cartografico.

Per descrivere le varie funzioni di editing faremo riferimento alla stazione fotogrammetrica Z-Map Photo della Menci Software, che oltre a consentire l'esecuzione di tutte le operazioni fotogrammetriche descritte nel capitolo 1 e di eseguire la restituzione stereoscopica (vedi paragrafo 2.2), possiede un CAD molto completo ed efficace che permette qualsiasi tipo di costruzione cartografica.

Le maggiori funzioni utili all'editing grafico sono:

- Copia – copia un'entità selezionata;

- Incolla – incolla un'entità copiata precedentemente e la posiziona in un punto definito dal clic del mouse;
- Cancella – elimina un'entità selezionata;
- Selezione – esegue una selezione di entità che hanno le stesse caratteristiche di codice;
- Sposta – sposta un'entità in un'altra posizione individuata con il clic del mouse;
- Ruota – ruota un oggetto;
- Scala – riduce o ingrandisce un elemento in base ad un valore di scala impostato dall'utente;
- Specchio – proietta un'entità in una posizione definita;
- Esplosi – incrementa di un numero di punti una polilinea o retta;
- Unisci – unisce delle entità che risultavano separate;
- Parallela – crea una retta parallela a quella selezionata, molto utile per il tracciamento di entità come strade;
- Allinea – allinea una linea curva;
- Aggiungi vertice – aggiunge un vertice ad un'entità;
- Spezza – divide in due entità un unico elemento, molto utile nel caso in cui si è restituito con un unico codice due entità che in realtà hanno codici diversi;
- Chiudi Polilinee – chiude un'entità aperta;
- Recupera Polilinea – riprende il cammino della polilinea dall'ultimo punto tracciato
- Squadratura – squadra un'entità chiusa;
- Layers – apre la schermata dei layers, per layers si intendono livelli di disegno, in ogni livello può essere disegnata una tipologia di entità, ad esempio si può avere il layer viabilità, il layer edifici e così via;
- Ordinamento layers – serve per organizzare al meglio il lavoro sui layer;
- Codici – con questa funzione si possono organizzare i codici, inserirne di nuovi o richiamare quelli esistenti;
- Colori – questa funzione consente di associare i colori alle varie entità e ai codici;
- Spessori – nella cartografia tradizionale si hanno diversi elementi ognuno dei quali viene disegnato con spessori e tipi di linee diverse, questa funzione si occupa di ciò;
- Stili di testo – con questa opzione è possibile la formattazione del testo;

- Stili di quotatura – con questa opzione è possibile la formattazione del testo che rappresenta le quote;
- Stili di punto – formattazione delle entità puntuali;
- Tipi di linea – in questa sezione sono presentate le varie opzioni di stile di linea;
- Campitura – la campitura è un riempimento delle aree chiuse, come riempimento possiamo avere colori o campiture di vario tipo;
- Impostazioni scarpate – opzioni specifiche per la rappresentazione delle scarpate;
- Parametratura – attraverso l'indicazione dei vertici del bordo del modello e del passo della parametratura è possibile con questa funzione generare in automatico la parametratura.

2.4 – Generazione e codifica delle aree.

Molti capitoli di cartografia numerica richiedono che tra le entità geometriche gestibili compaiano anche elementi di tipo areale, questa necessità è ancor più sentita quando si produce una base cartografica per i GIS (Geographic Information System), questi sistemi, infatti, prevedono che tutta la cartografia debba essere costituita da aree chiuse in modo da poter associare a queste dati di diverso tipo.

L'acquisizione diretta della geometria in termini di aree chiuse direttamente in fase di restituzione, è possibile ma non conveniente per vari motivi:

- un notevole aggravio di lavoro da parte del restituitista,
- una ridondanza di informazioni che porta a un notevole aumento delle dimensioni dei files di restituzione,
- aumento delle incongruenze geometriche.

Le problematiche inerenti la gestione degli elementi areali rivestono due aspetti:

- Codifica logica
- Caratteristiche grafiche

In fase di editing occorrerà controllare tutta la geometria di base al fine di risolvere tutte quelle incongruenze sfuggite nella fase di restituzione.

In previsione della successiva generazione delle aree sarà quindi necessario ricontrollare:

- La chiusura delle polilinee non connesse formanti un'area
- Le situazioni di incrocio fra linee senza nodo di intersezione
- Le situazioni di prossimità tra linee confluenti
- Le condizioni di tangenza tra due polilinee

Per quanto riguarda la vestizione grafica di queste aree è conveniente eseguirla alla fine di tutti i controlli in quanto rappresenta un grosso peso grafico.

Per la risoluzione dei problemi relativi alla gestione delle aree chiuse possiamo utilizzare molte funzioni CAD come quelle descritte nel precedente paragrafo.

Un'altra serie di funzioni relative alla gestione delle aree di cui sono dotati alcuni sistemi grafici riguardano le operazioni tra insiemi (vedi figure successive). Queste funzioni hanno una grossa applicazione nella generazione di carte tematiche.

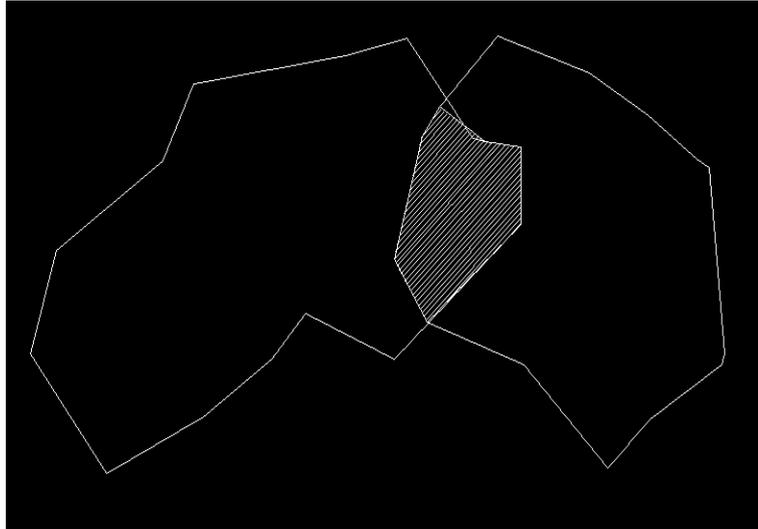


Figura 26 - Esempio di intersezione.

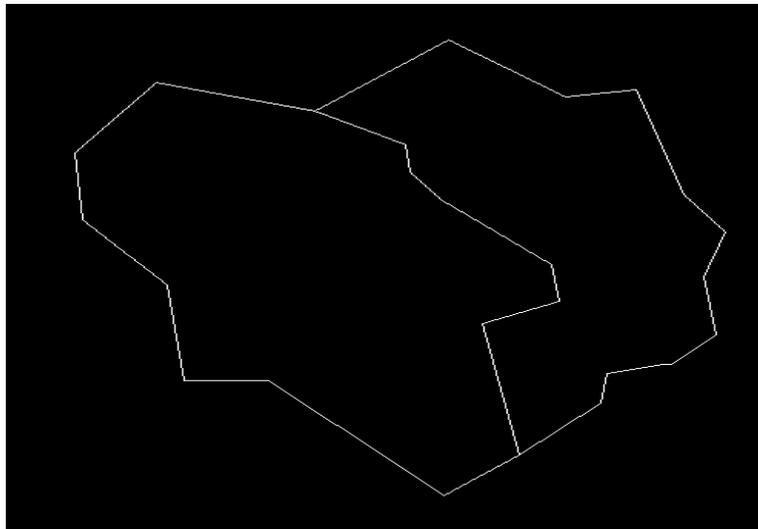


Figura 27 - Esempio di unione.

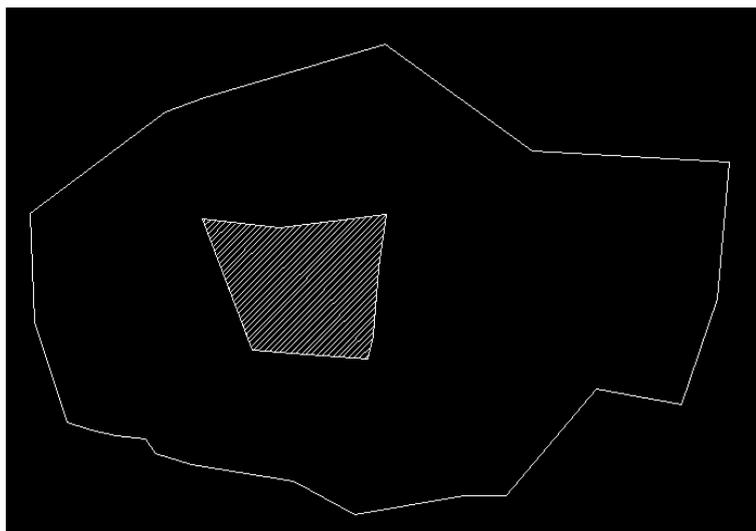


Figura 28 - Esempio di sottrazione.

2.5 – Modelli digitali del terreno.

Utilizzando dati provenienti da rilievi topografici, fotogrammetrici e/o cartografie ed indicanti la variabilità delle quote (z) in funzione delle coordinate planimetriche (x,y), la rappresentazione della morfologia del territorio può essere effettuata attraverso diverse tipologie di modelli digitali.

Un'opzione è costituita dal TIN (Triangulated Irregular Network): la superficie viene espressa mediante un insieme di triangoli i cui vertici sono costituiti dai punti per i quali risultano note in partenza le coordinate x , y , z . La costruzione di tali modelli rende necessaria la triangolazione, ovvero l'organizzazione di dati in terne di punti: gli algoritmi utilizzabili allo scopo sono molteplici e si basano su specifiche proprietà geometriche.

Qualora si disponga di un insieme di dati tali che le coppie x , y , costituiscano un grigliato a passo regolare, è possibile generare il DEM (Digital Elevation Model): in presenza di punti le cui coordinate planimetriche siano comunque distribuite, occorre costruire preventivamente un grid, associando a ciascun elemento un valore interpolato. Impiegando la struttura del TIN o del DEM, si costruisce il DTM (Digital Terrain Model), rappresentazione più ricca di dettagli descrittivi.

Il DTM può essere definito come una rappresentazione statistica di una superficie continua del terreno attraverso un numero elevato di punti noti nelle coordinate x , y , z relative ad un sistema di riferimento arbitrario.

Con l'espressione TIN si identifica in maniera univoca una particolare modellizzazione basata sull'impiego di triangoli a partire da dati disposti in maniera irregolare. Al contrario per DEM si intende una rappresentazione che utilizza maglie regolari in x , y (grid).

Alla base del DTM rimane comunque una delle strutture fondamentali, ovvero il TIN o il DEM, di cui si illustrano di seguito le caratteristiche principali, nonché le possibilità operative per la loro realizzazione.

2.5.1 – Costruzione del TIN.

Il TIN rappresenta un vero e proprio modello vettoriale tridimensionale: punti noti nelle tre coordinate x, y, z , comunque distribuiti nello spazio, vengono congiunti da linee così da formare triangoli piani ed adiacenti che consentono di rappresentare per continuità la superficie del territorio.

Per stabilire le terne dei punti che costituiscono i singoli triangoli ovvero per organizzare le maglie di riferimento, si utilizzano algoritmi basati su proprietà geometriche. Il metodo di Delaunay consente di definire terne di punti tali che il cerchio che circoscrive ciascun triangolo non contiene altri elementi della serie di partenza.

La superficie del territorio può essere rappresentata anche attraverso la mosaica tura di poligoni più complessi, i quali, però, sono comunque decomponibili e riconducibili a triangoli.

In definitiva un modello di tipo TIN risulta costituito da nodi, lati, triangoli, relazioni topologiche. I nodi sono originati dai punti che compongono la banca dati iniziale, di cui consentono una rappresentazione geometrica nello spazio 3d; i lati sono determinati dalla triangolazione; i triangoli esprimono l'approssimazione della superficie reale con un modello matematico; le relazioni topologiche definiscono i nodi e i lati di ciascun triangolo e l'adiacenza dello stesso ad altri. Di conseguenza la struttura del TIN è tale da archiviare i dati sotto forma di tabelle relative ai valori delle coordinate e alle relazioni esistenti tra gli elementi della mosaicatura.

La quota del punto P non coincidente con alcuno dei vertici del TIN viene ricavata mediante interpolazione lineare. In particolare, si considera l'intersezione di una linea verticale passante per P col piano definito dai 3 nodi del triangolo in cui ricade il punto in questione. Tale piano ha equazione:

$$ax+by+cz+d=0$$

dove le costanti a, b, c, d sono determinate dalle coordinate dei tre vertici (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) :

$$a = y_1(z_2 - z_3) + y_2(z_3 - z_1) + y_3(z_1 - z_2)$$

$$b = z_1(x_2 - x_3) + z_2(x_3 - x_1) + z_3(x_1 - x_2)$$

$$c = x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)$$

$$d = -ax_1 - by_1 - cz_1 \quad [43]$$

La quota z di un qualsiasi punto del triangolo è quindi data da:

$$z = f(x, y) = -\frac{a}{c}x - \frac{b}{c}y - \frac{d}{c} \quad [44]$$

2.5.2 – Costruzione del DEM.

Analogamente a quanto avviene in campo bidimensionale con il formato raster, nelle rappresentazioni 3d un DEM consente di conservare i dati attraverso una matrice i cui singoli elementi (celle) sono individuati da una coppia di coordinate x, y che ne esprime la posizione rispetto ad un sistema di riferimento. La quota è considerata costante per ogni singola cella oppure viene associata solo al baricentro della stessa, risultando valori interpolati di z negli altri punti.

La costruzione di un DEM prefigura la disponibilità di dati disposti secondo un grigliato regolare nel piano x, y . Qualora tale condizione non sia verificata, occorre passare attraverso la realizzazione di un grid, attribuendo a ciascuna cella (ovvero al baricentro della stessa) la quota più probabile in base ai valori assunti da una rosa di punti prossimi.

La determinazione della quota può avvenire attraverso l'applicazione di algoritmi diversi. In particolare si utilizzano:

1. tecnica del prossimo più vicino;
2. interpolazione con media ponderata;
3. interpolazione lineare;
4. interpolazione con superficie del 2° ordine;
5. interpolazione con superficie del 3° ordine.

Nel 1° caso si attribuisce all'elemento del grid il valore che compete al più vicino dei punti noti nelle tre coordinate x, y, z .

Nel 2° caso, il valore della quota in ciascun punto è dato da:

$$Q_{i,j} = \frac{\sum_k \left(\frac{q_k}{d_{i,j}} \right)}{\sum_k \left(\frac{1}{d_{i,j}} \right)} \quad [45]$$

dove risulta:

$i=1, \dots, m;$ $j=1, \dots, n;$ $k=1, \dots, p;$

$Q_{i,j}$ = quota calcolata per l'elemento del grid alla posizione (i, j) ;

\sum = sommatoria estesa ai p punti quotati prossimi alla posizione (i, j) ;

q_k = quota del punto k-esimo (cioè punto appartenente ai prossimi considerati);

$d_{i,j}$ = distanza del punto i, j dal punto k-esimo.

Il peso attribuito a ciascun punto è dato dall'inverso della distanza dello stesso dall'elemento del grigliato di cui si vuole stabilire la quota; di conseguenza i punti più vicini influenzano in misura maggiore il valore pesato rispetto a quelli più lontani.

Nel 3° caso la determinazione della z avviene considerando l'elemento del grid com appartenente ad un piano che meglio interpola le quote dei punti prossimi, per cui risulta:

$$z = ax + by + c \quad [46]$$

Il problema consiste dunque nel calcolare i valori dei 3 coefficienti incogniti a , b , c : la risoluzione è possibile scrivendo la relazione precedente per almeno 3 punti prossimi e risolvendo il sistema risultante; solitamente si utilizza un numero maggiore di punti e si applica il metodo dei minimi quadrati.

Nel 4° caso si considera il punto come appartenente ad una superficie del 2° ordine, per cui la z è data da:

$$z = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f \quad [47]$$

Analogamente a quanto detto per l'interpolazione lineare, per determinare i 6 coefficienti a , b , c , d , e , f occorre risolvere il sistema risultante dall'impiego della relazione precedente per 6 o più punti prossimi.

Nel 5° caso, si determina la quota considerando il punto come appartenente ad una superficie del 3° ordine:

$$z = ax^3 + by^3 + cx^2y + dxy^2 + ex^2 + fy^2 + gxy + hx + iy + l \quad [48]$$

I valori dei coefficienti incogniti a , b , c , d , e , f , g , h , i , l , sono forniti dalla risoluzione del sistema risultante dall'impiego della relazione di cui sopra per 10 o più punti prossimi.

2.5.3 – Altre caratteristiche dei modelli digitali del terreno.

I modelli digitali del territorio (TIN, DEM, DTM), oltre a consentire una percezione dell'andamento morfologico molto più immediata di una semplice rappresentazione tramite curve di livello, rendono possibile l'esecuzione in automatico di alcune operazioni quali il calcolo di aree, volumi, altitudini e pendenze. Essi, inoltre, possono costituire la base per una serie di studi ed applicazioni concernenti, ad esempio, l'individuazione di nuovi percorsi (stradali e ferroviari), la determinazione di tracciati

per l'allocazione di condotte idrauliche, la simulazione per la valutazione di impatto ambientale.

È evidente che le caratteristiche dei dati di partenza (modalità di acquisizione, distribuzione, quantità, ecc.) e dei metodi di interpolazione determinano il grado dettaglio ed il livello di precisione del modello risultante.

L'impiego di TIN, DEM, o DTM, se da una parte consente di rappresentare adeguatamente la morfologia di luoghi naturali, dall'altra parte non è idoneo per modellizzare il territorio antropizzato, per cui necessitano approfondimenti ed integrazioni con altre funzioni CAD di tipo 3d.

2.6 - Ortofoto.

Talvolta la tradizionale carta al tratto può essere un prodotto non del tutto soddisfacente. Spesso, in questo tipo di cartografia, archeologi, pedologi, forestali, agronomi, geografi, geologi, pianificatori territoriali ed ecologisti non trovano rappresentati alcuni particolari di loro grande interesse. Per essi, una carta che conservi tutti i particolari informativi delle foto aeree (fotocarta) sarebbe una soluzione preferibile. Inoltre le fotocarte presentano altri aspetti positivi: sono sensibilmente meno costose e molto più veloci da produrre, rispetto alle carte al tratto tradizionali.

Gli argomenti di cui si tratta in questa parte della tesi sono:

- descrizione delle deformazioni presenti in un fotogramma;
- descrizione delle procedure per trasformare un fotogramma prospettico in una "fotografia corretta", cioè in un ortofotogramma; si ricordi infatti che un fotogramma è una prospettiva centrale e una carta è una "proiezione" ortogonale.

2.6.1 - Deformazioni presenti in un fotogramma.

Le deformazioni presenti in un fotogramma sono descritte utilizzando formule basate sulle coordinate (X,Y,Z) di punti discreti che costituiscono un grigliato.

La figura 15 mostra una superficie oggetto, definita dalle coordinate Z (quote) dei nodi di un grigliato regolare a maglia quadrata. Nella rappresentazione cartografica ("proiezione ortogonale") un grigliato XY a maglia quadrata costituisce l'immagine non distorta della superficie del terreno.

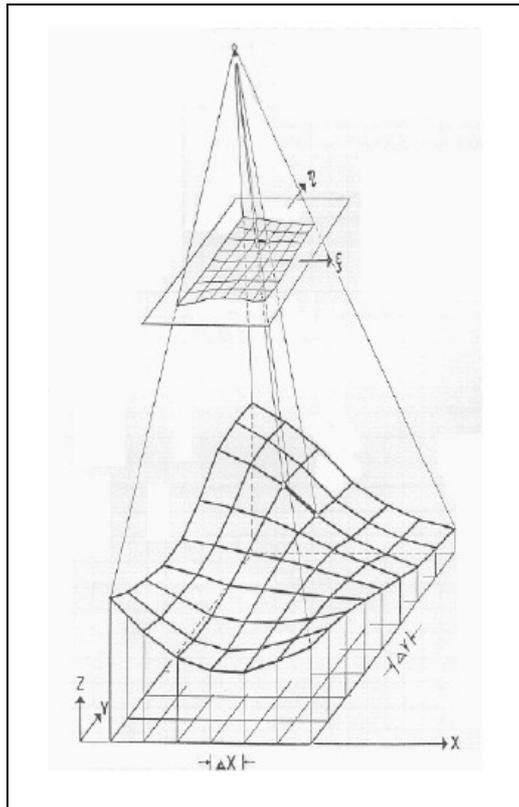


Figura 29

Nella figura 16 si vede un esempio di come un grigliato regolare appare deformato sul fotogramma.

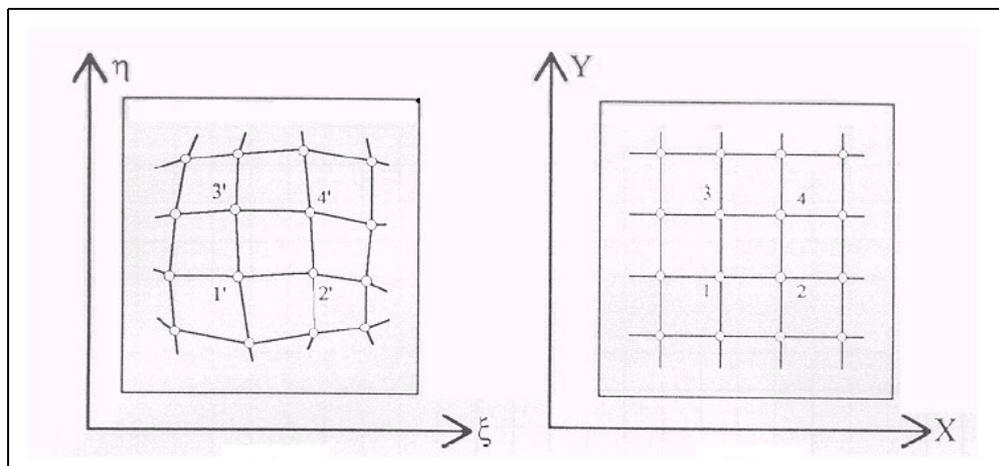


Figura 30

Sotto invece si vede il grigliato deformato sulla foto aerea e il grigliato regolare sull'ortofoto (fig. 17).

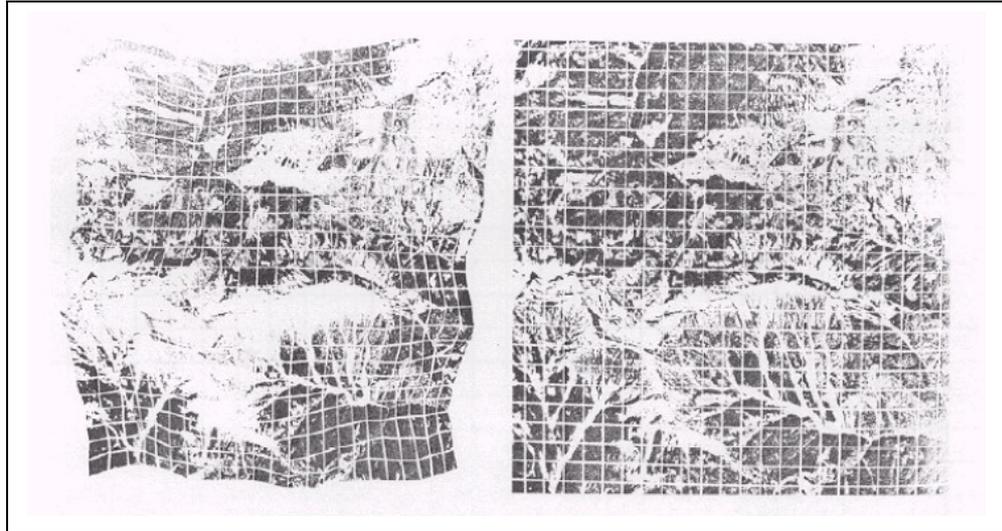


Figura 31

In corrispondenza dei singoli punti di un grigliato si possono calcolare valori numerici di deformazione.

2.6.2 – Caso in cui il terreno è piano e parallelo al piano immagine.

Il fotogramma è identico all'ortofoto nel caso in cui il piano oggetto e il piano immagine sono paralleli. Perciò, un grigliato regolare a maglia quadrata, sul piano oggetto, viene riprodotto simile a sé stesso sull'immagine del fotogramma.

Questo caso, che si può considerare ideale, ci serve per determinare il valore degli errori che si hanno a causa dello scostamento dei punti del terreno dal piano di riferimento (come vedremo, è questa la maggiore causa d'errore nella realizzazione di un'ortofoto). Le immagini dei punti che non giacciono esattamente sul piano oggetto (di riferimento), ma si trovano a una quota $\pm\Delta Z$ dal piano di riferimento, risulteranno spostate di una quantità $\pm\Delta\rho$ in direzione radiale rispetto al punto principale PP (fig. 33).

Lo spostamento radiale (errore d'altezza) causato da un dislivello $\pm\Delta Z$ è dato dall'equazione:

$$\Delta\rho = \Delta Z \cdot \frac{\rho}{c \cdot m_b} \quad [49]$$

(valida rigorosamente per prese nadirali e in maniera approssimata per prese pseudo-nadirali); in tale formula m_b rappresenta il fattore di scala al quale viene eseguito il raddrizzamento.

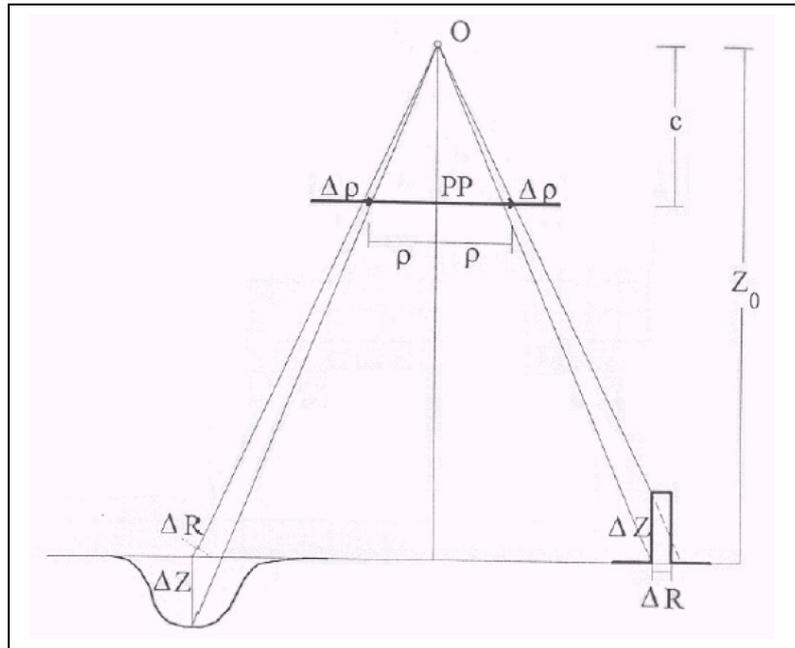


Figura 32

2.6.3 – Realizzazione dell'ortofoto nel caso di terreno pianeggiante.

Nel caso in cui il terreno è pianeggiante, ma le prese non sono state eseguite in assetto perfettamente nadirale (situazione che si verifica comunemente nella realtà), la realizzazione dell'ortofoto si ottiene riportandosi alla condizione ideale di assetto nadirale (metodo del raddrizzamento).

Se l'oggetto fotografato è piano e se l'obiettivo di presa è esente da aberrazioni, esiste una corrispondenza biunivoca tra i punti oggetto e i punti immagine, corrispondenza che è facile determinare se sono noti gli elementi di orientamento interno e esterno della camera.

Oggetto e immagine si corrispondono in una proiezione, e tale proiezione risulta essere una omografia.

Pertanto, per ottenere il raddrizzamento, è necessario e sufficiente determinare gli elementi che individuano tale omografia.

Si può procedere secondo due approcci diversi: il metodo analitico e quello ottico-prospettico. Si tratterà solo quello analitico in quanto oggi il più usato. Analiticamente, il problema è molto semplice. Si risolvono le equazioni dell'omografia (8 parametri)

$$\begin{cases} X = \frac{a_1\xi + a_2\eta + a_3}{c_1\xi + c_2\eta + 1} \\ Y = \frac{b_1\xi + b_2\eta + b_3}{c_1\xi + c_2\eta + 1} \end{cases} \quad [50]$$

Per ricavare gli 8 parametri $(a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2)$ occorrono 4 punti d'appoggio, aventi coordinate terreno note e coordinate immagine da misurare sul fotogramma (ad esempio con un comparatore).

L'omografia viene così ricostruita, apparentemente senza tenere conto dell'orientamento interno della camera. È evidente che i parametri a,b,c sono funzioni dei parametri di orientamento interno ed esterno della camera.

Una volta noti i parametri a,b,c, è possibile restituire il fotogramma punto per punto, misurando le coordinate immagine con un comparatore.

Questo procedimento può essere applicato in casi particolari, in cui interessa rilevare un numero discreto di punti. Se i punti d'appoggio sono ben segnalizzati e se le misure sono eseguite con elevata precisione in un buon comparatore, si possono ottenere ottimi risultati.

2.6.4 – Precisione del raddrizzamento.

Gli errori nello stabilire i movimenti del raddrizzatore sono trascurabili, in confronto a quelli derivanti da scostamenti della superficie effettiva del terreno, rispetto al piano assunto come riferimento. In base alla formula già vista:

$$\Delta\rho = \Delta Z \cdot \frac{\rho}{c \cdot m_b}$$

è stata costruita la tabella che segue, in cui sono riportati i valori in metri della massima distanza consentita dal piano di riferimento (ΔZ_{max}) per avere un errore massimo (supposto accettabile) di 1 mm sui bordi dell'ortofoto. Si suppone che ρ sia uguale a 100 mm.

1/mb	1:1000	1:2000	1:5000	1:10000	1:25000
c=150 mm	1.5	3	7.5	15	37.5
c=300 mm	3	6	15	30	75

Tabella 4

Si nota che i fotogrammi aerei di zone di terreno pianeggianti possono essere raddrizzati con risultati soddisfacenti, e che i fotogrammi ripresi con camere a campo normale (c=300 mm) sono più adatti alla produzione di fotopiani di quanto lo siano quelli ripresi con camere grandangolari (c=150 mm). Infatti i primi consentono scostamenti anche maggiori dalla superficie che si considera come riferimento.

Una volta ottenuti i fotogrammi raddrizzati, essi possono essere uniti, in modo da ottenere un fotomosaico, cioè una carta fotografica e planimetrica del territorio fotografato. Questi mosaici sono usati spesso come carta di prima approssimazione anche in terreni poco accidentati, ma che non rispettano le tolleranze sopra indicate, in zone prive di qualunque cartografia. Con un procedimento rapido si ottengono così documenti molto utili per studi di carattere regionale.

In zone veramente piane, si possono invece ottenere ottime carte planimetriche, che vengono suddivise in fogli come una carta normale e su cui si scrivono i toponimi e si inseriscono anche punti quotati, derivati da livellazioni geometriche eseguite a terra.

Volendo, si possono tracciare vere e proprie carte, con semplici, ma lunghe operazioni di disegno.

Particolare attenzione deve essere posta agli edifici, dei quali solo i punti a filo del terreno hanno posizione planimetrica giusta.

Sempre in terreni piani, il raddrizzamento è molto utile nell'aggiornamento delle carte, che in generale ha carattere essenzialmente planimetrico.

Concludendo, possiamo dire che il raddrizzamento è un metodo di restituzione fotogrammetrica forzatamente limitato, sia perché fornisce solo la planimetria, sia perché applicabile solo in particolari tipi di terreno, ma molto semplice, economico e rapido, che consente in diversi casi di ottenere in breve tempo documenti cartografici di grande utilità.

Ovviamente il raddrizzamento ottico cade in difetto se il terreno è alquanto collinoso.

In tal caso bisogna utilizzare il raddrizzamento differenziale (ortoproiezione).

2.6.5 – Realizzazione dell'ortofoto nel caso di terreno non pianeggiante.

Un qualsiasi fotogramma convenzionale è una proiezione centrale del terreno e, come tale, l'immagine riprodotta risulta deformata perché:

- l'asse della camera da presa, all'atto dello scatto, non era perpendicolare alla superficie del terreno,
- perché il terreno risulta accidentato, con quota variabile da punto a punto.

Il fotogramma convenzionale non può quindi, per sua natura, presentare una scala dell'immagine uniforme ed esatta su tutto il suo formato.

Abbiamo visto che è possibile, con il raddrizzamento, correggere le deformazioni nel caso di terreno piano (si trattava di deformazioni dovute alla non verticalità dell'asse della camera da presa).

Bisogna ora vedere come correggere le deformazioni dell'immagine causate dalla pendenza del terreno.

Se consideriamo il fotogramma suddiviso in tante piccolissime porzioni e per ciascuna di esse eseguiamo un raddrizzamento, cambiando di volta in volta le condizioni geometriche di proiezione, è possibile ottenere lo scopo voluto.

Procedendo in tal modo, effettueremo un "raddrizzamento differenziale" del fotogramma e porteremo l'immagine, su tutto il formato del fotogramma, a una scala uniforme ed esatta.

Il metodo del raddrizzamento differenziale è quello seguito nella cosiddetta "ortoproiezione": essa consiste nel trasformare una proiezione centrale del terreno (fotogramma convenzionale) in una corrispondente proiezione ortogonale (ortofotogramma).

Risulta evidente il seguente fatto fondamentale: per poter eseguire un raddrizzamento differenziale occorre conoscere i dislivelli fra tutti i punti del terreno, occorre cioè conoscere le quote dei punti del terreno.

Nell'ipotesi che la superficie oggetto sia descritta dalle quote Z dei nodi XY di un grigliato, come già detto per produrre un'ortofoto è necessario conoscere queste quote Z . Ciò può essere ottenuto ad esempio tramite l'uso di:

- Restitutori analitici: la marca di collimazione può essere portata automaticamente in corrispondenza dei nodi di un grigliato regolare XY . L'operatore misura la quota, che viene registrata automaticamente.
- Restitutori analogici: devono essere dotati di dispositivo di inseguimento di profili, il quale effettua misure di grigliati raster, e di registratore di coordinate.

Se l'area su cui si vuole produrre l'ortofoto è già dotata di una carta topografica di scala e precisione adeguate, si possono ricavare le quote digitalizzando le curve di livello della carta con uno strumento idoneo.

L'esistenza di un archivio generale delle quote del terreno (DTM) sarebbe utilissimo per l'aggiornamento delle ortofotocarte. In un tale archivio si memorizzano le quote dei nodi di un grigliato regolare, utilizzabili per la produzione di ortofoto a partire da qualsiasi futuro fotogramma.

2.6.6 - Precisioni nella produzione di ortofoto.

Gli errori più consistenti si verificano ai bordi dell'ortofoto, e sono dovuti a numerose cause. Nelle condizioni migliori, lo scarto quadratico medio dell'intera ortofoto non dovrebbe superare:

$\pm 0.3 \text{ mm} \cdot m_k$ per le ortofoto a piccola scala

$\pm 0.5 \text{ mm} \cdot m_k$ per le ortofoto a grande scala.

Dove m_k è il fattore di scala dell'ortofoto.

Capitolo 3 – Un'applicazione: realizzazione della cartografia in scala 1:5000 dell'area di Siena.

3.1 - Introduzione.

Nei capitoli precedenti si è visto come si costruisce una carta, in questo, vedremo un'applicazione delle nozioni precedentemente esplicitate. Nel seguente lavoro si sono eseguite diverse elaborazioni su 6 fotogrammi del Comune di Siena attraverso software e dispositivi hardware forniti dalla Menci Software azienda italiana operante nel settore fotogrammetrico e cartografico.

3.2 - Strumenti e dati utilizzati.

La strumentazione utilizzata per questo lavoro comprende una parte hardware ed una software, la parte hardware è composta da un comune PC, un monitor di almeno 17'', uno strumento per la stereovisione, lo Stereo Pro prodotto dalla Menci Software, una trackball per gestire la movimentazione altimetrica, per la parte software si è utilizzata la stazione fotogrammetrica Z-Map Photo della Menci Software.

Stereo Pro è un sistema di stereovisione che supporta normali monitor LCD e che non richiede schede video particolari, a differenza di altri stereovisori che richiedono schede stereo-ready non sempre facilmente reperibili sul mercato e che hanno costi abbastanza alti. Allo Stereo Pro è possibile abbinare un monitor ausiliario che mostra il tracciamento vettoriale. Stereo Pro è uno strumento "passivo" basato su lenti e specchi che consente una visione stereo diretta, riducendo l'affaticamento degli occhi e rendendo più confortevole la stereorestituzione.



Figura 33 - Strumento di stereovisione Stereo Pro.

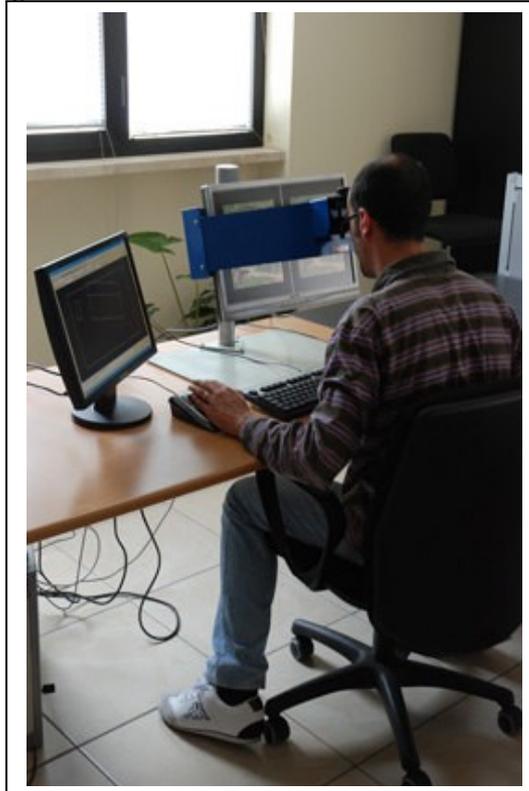


Figura 34 - Tipica postazione di lavoro Stereo Pro con monitor ausiliario.

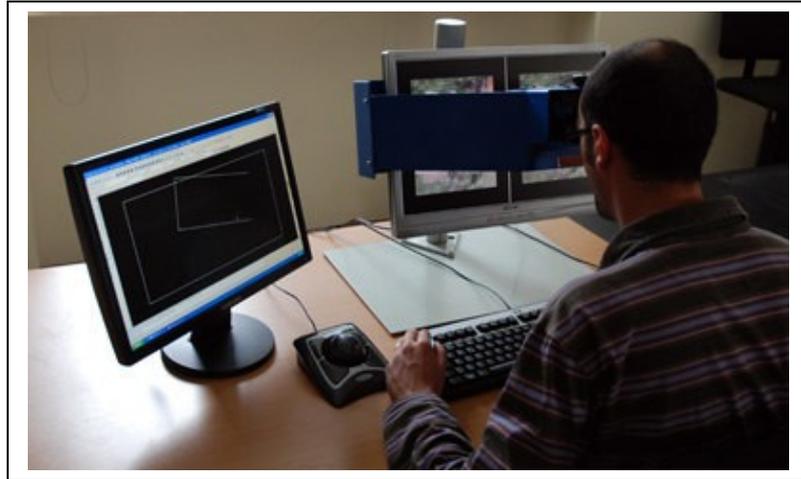


Figura 35 - La strumentazione utilizzata.

Z-Map Photo è una stazione fotogrammetrica multi sensore per la produzione e l'elaborazione di dati cartografici e architettonici. È stato scelto questo software perché integra con efficienza informazioni raster e vettoriali anche di grandi dimensioni e consente una gestione rapida di:

- DTM densi acquisiti con le più diverse tecnologie;
- Foto aeree di grandi dimensioni;
- Ortofoto rettificate;
- Modelli stereoscopici;
- Cartografia vettoriale con i relativi tematismi.

Tutto questo lo si trova in un unico ambiente, moderno e di semplice utilizzo che garantisce accuratezza e produttività. L'architettura del sistema è basata su un database proprietario di tipo CAD.

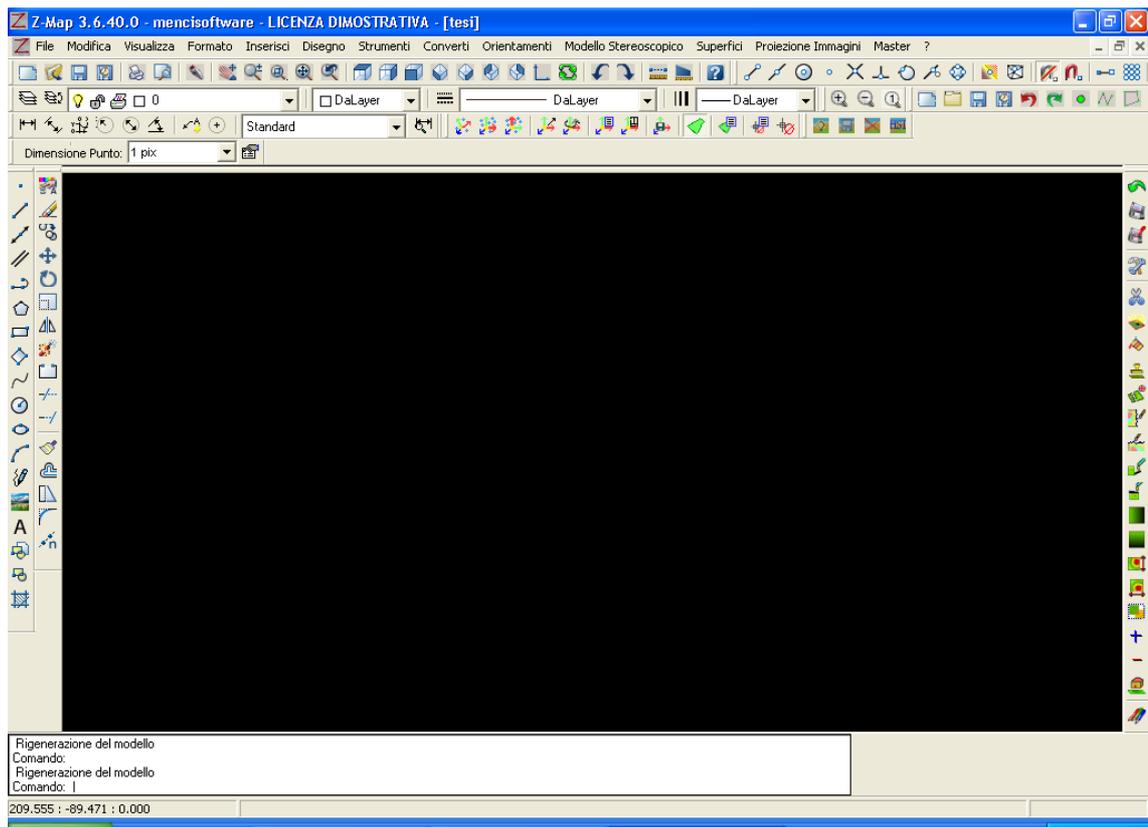


Figura 36 - Ambiente di lavoro di Z-Map Photo

Per lo sviluppo di questo lavoro abbiamo 2 strisciate costituite da tre fotogrammi ciascuna relative ad una porzione del Comune di Siena, i dati che caratterizzano tali immagini sono:

- Tipo obiettivo = Wild 30/4 NAT-S;
- Focale = 303,55 mm;
- Larghezza in pixel = 16644;
- Altezza in pixel = 16644;
- Risoluzione = 2500 dpi;
- Fotogrammi a colori;
- Altezza di volo = 1200 m => che ci consente di produrre una carta in scala 1:2000.

3.3 - Inquadramento geografico.

Il territorio cartografato si trova nella città di Siena, nella regione toscana ed è compreso tra le seguenti coordinate nel sistema di riferimento UTM - World Geodetic System 1984 – 32° Nord:

Longitudine : 11°19'07.248" a 11°19'42.816"

Latitudine: 43°19'23.646" a 43°19'55.141"

Con una quota media di 322 m.s.l.m.



Figura 37 - Area oggetto della cartografia.

3.4 - Orientamento interno.

Come abbiamo visto nel capitolo 1, paragrafo 3.1, la prima operazione che si esegue è l'orientamento interno dei singoli fotogrammi. Con Z-Map Photo tale operazione è possibile accedendo alla funzione Orientamento Interno dal menù Orientamenti. Il primo passo consiste nel caricamento dell'immagine da orientare, una volta selezionata l'immagine ci apparirà una finestra come quella seguente:

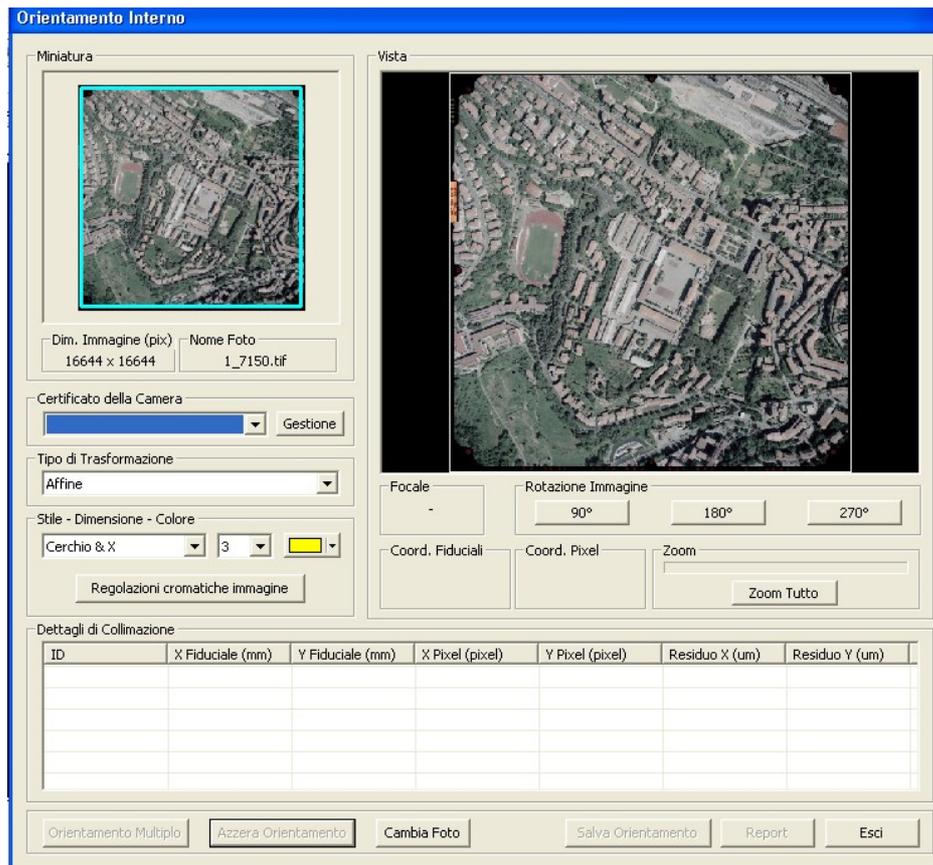


Figura 38 - Schermata Orientamento Interno.

Nella finestra di orientamento avremo, quindi, l'anteprima dell'immagine con nome e dimensioni, alcune funzioni di miglioramento della navigazione all'interno dell'immagine, una funzione di gestione del certificato di calibrazione della camera, il tipo di trasformazione preferita selezionabile tra Affine e Omografica, ed altre funzioni di miglioramento estetico delle marche fiduciali.

La prima operazione da eseguire è l'inserimento del certificato di calibrazione della camera, nel nostro caso è già presente nella cartella di lavoro ed andremo direttamente a richiamarlo nel menù a tendina predisposto per tale scopo.

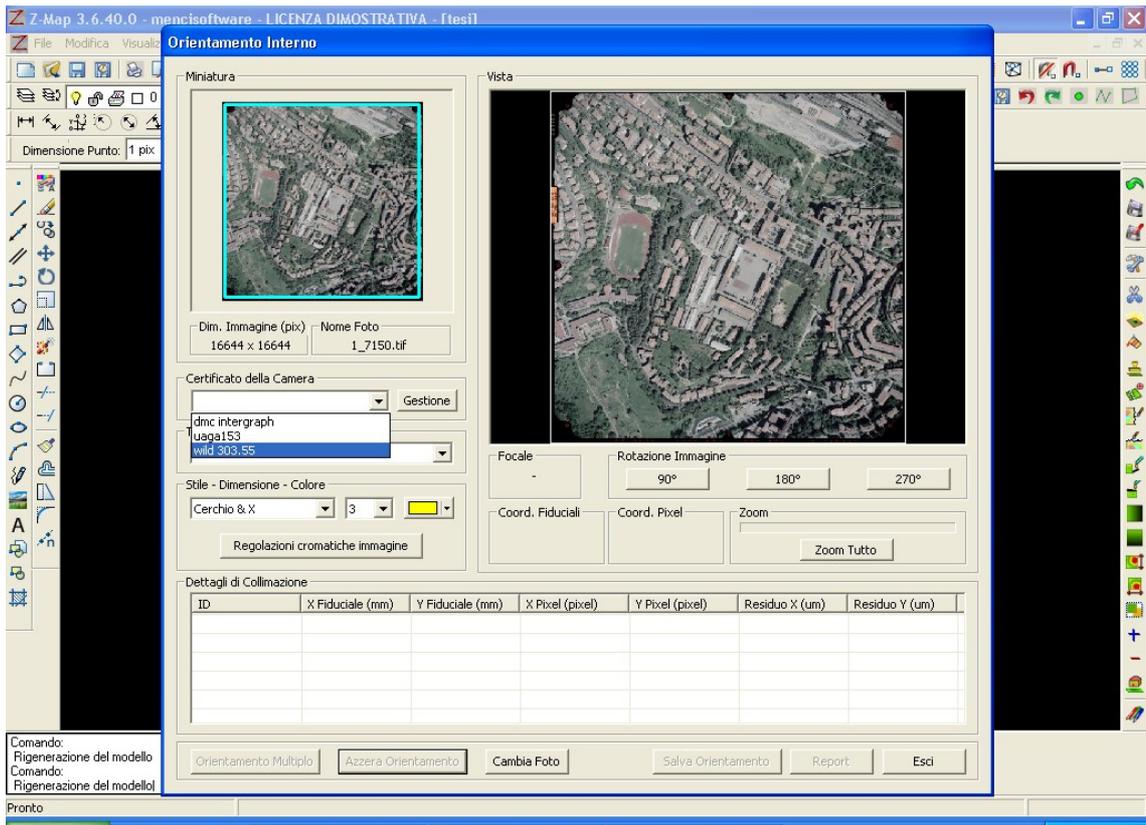
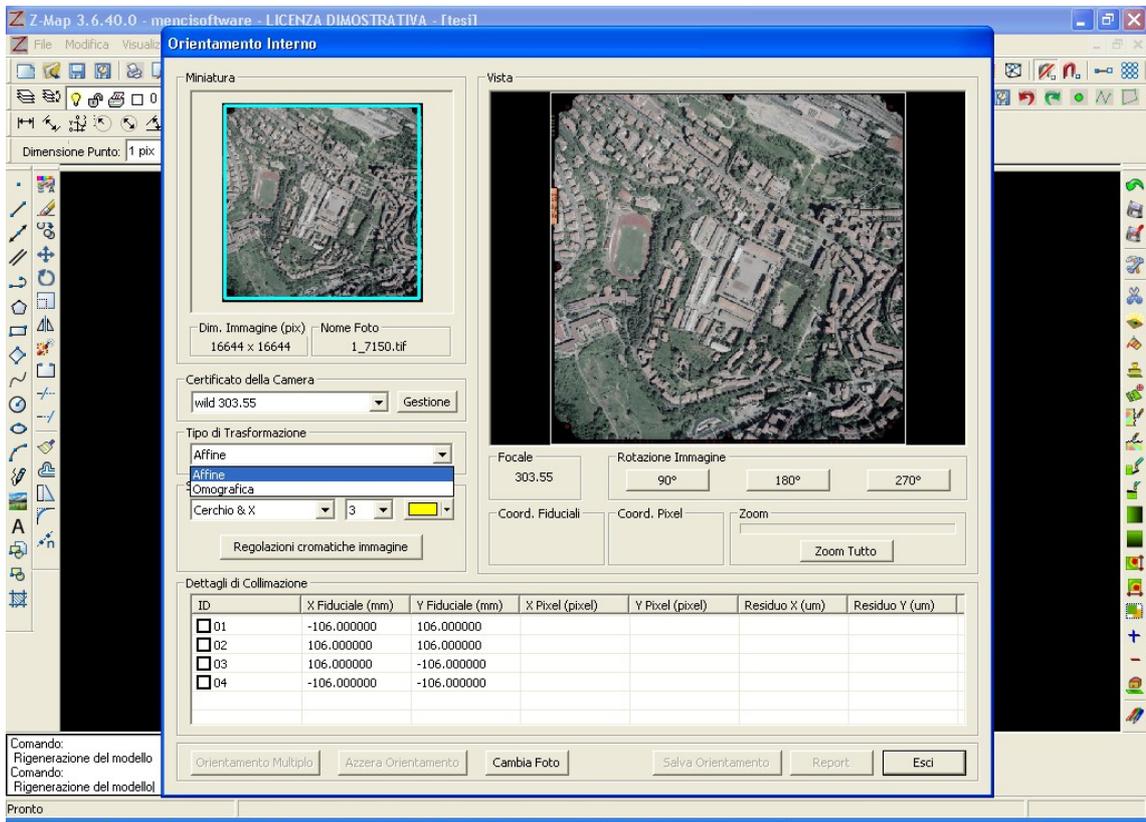


Figura 39 - selezione del certificato di calibrazione della camera.

In secondo luogo si seleziona il tipo di trasformazione proiettiva preferita tra quella omografica e quella affine, noi selezioniamo l' affine perché sufficiente ai nostri obiettivi.



Il software grazie all'inserimento del certificato di calibrazione della camera ci mostra una tabellina contenenti le coordinate delle marche fiduciali (vedi capitolo 1.3.3) nel sistema immagine. A questo punto non ci resta che collimarle sul fotogramma. Questa operazione grazie all'ottima interfaccia di Z-Map Photo risulta molto semplice ed intuitiva. Si clicca con il tasto destro sulle coordinate e ci appare la possibilità di collimare le marche in modalità automatica o in modalità manuale. In modalità automatica bisognerà solo per il primo fotogramma collimare tutte le marche, poi il sistema memorizza l'immagine delle marche e per i successivi fotogrammi sarà in grado di collimare automaticamente tutte le marche, così facendo si assicura all'operatore un notevole risparmio di tempo.

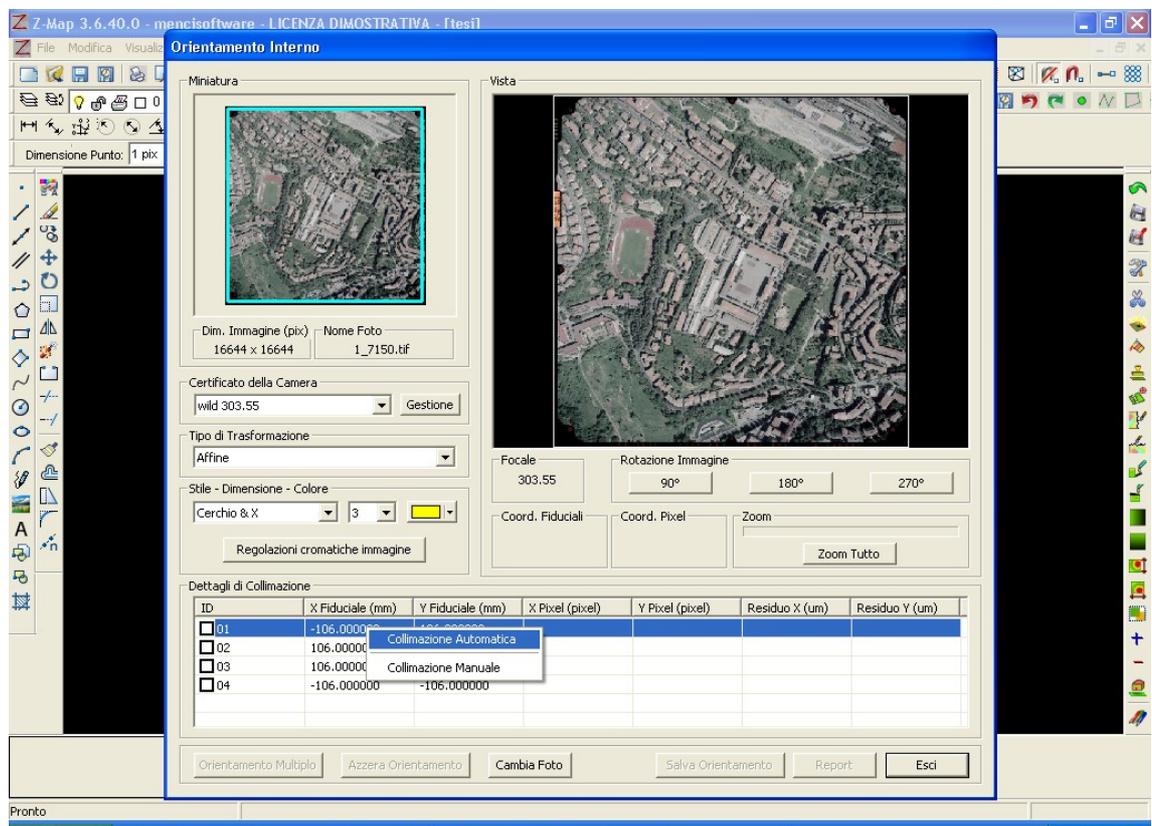


Figura 40 - Selezione del tipo di collimazione delle marche fiduciali.

Adesso bisogna semplicemente collimare le varie marche, quindi si raggiunge l'elemento e gli si da un clic del mouse ed il sistema passa alla collimazione successiva.

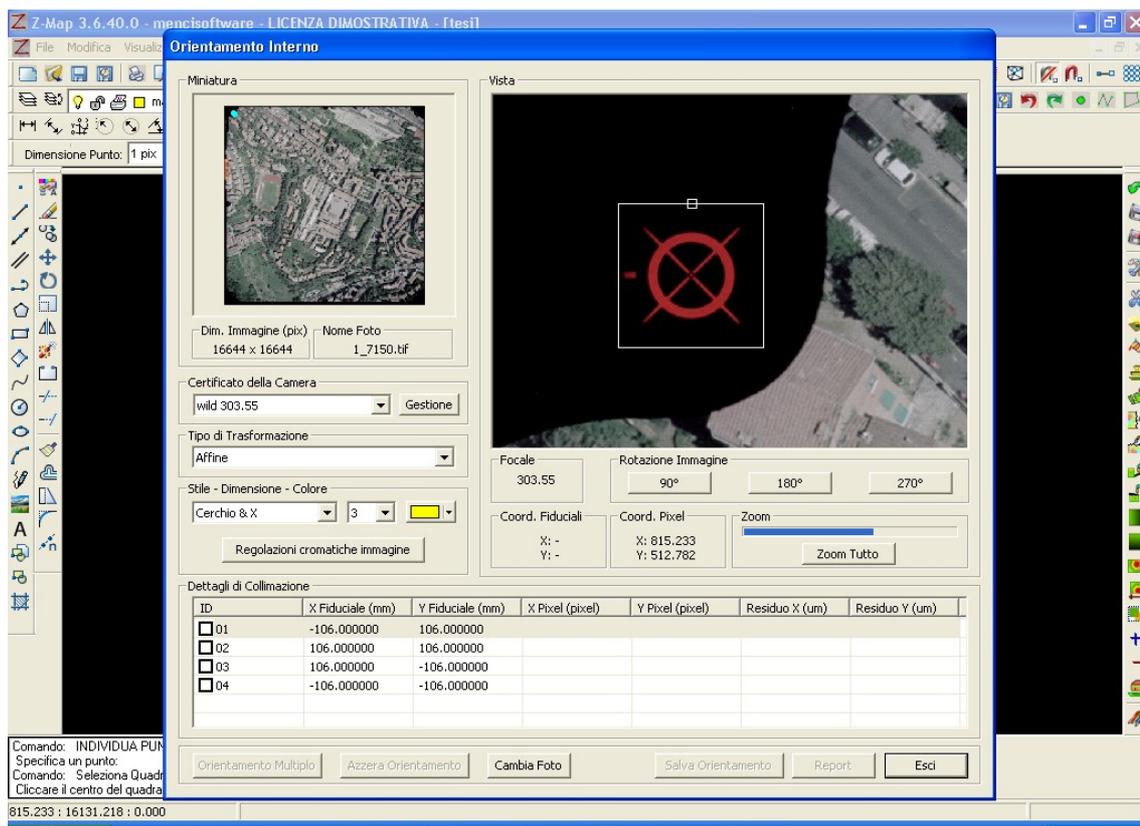


Figura 41 - Collimazione di una marca fiduciale.

Una volta terminata tale operazione nella tabellina in basso compariranno i valori dei residui sulla collimazione:

Dettagli di Collimazione						
ID	X Fiduciale (mm)	Y Fiduciale (mm)	X Pixel (pixel)	Y Pixel (pixel)	Residuo X (um)	Residuo Y (um)
<input checked="" type="checkbox"/> 01	-106.000000	106.000000	815.770348	622.505490	-1.897	-0.765
<input checked="" type="checkbox"/> 02	106.000000	106.000000	15958.353063	649.370400	1.897	0.765
<input checked="" type="checkbox"/> 03	106.000000	-106.000000	15930.745824	15791.048428	-1.897	-0.765
<input checked="" type="checkbox"/> 04	-106.000000	-106.000000	788.705455	15763.965936	1.897	0.765

Figura 42 - Dettagli della collimazione.

La tabella sopra riportata mostra per ogni riga la coordinata x espressa in mm, la coordinata y espressa in mm, la coordinata x espressa in pixel, la coordinata y espressa in pixel, il valore del residuo sulla x e sulla y espressa nell'unità di misura dell'immagine. In questo caso i valori sono sotto la soglia considerata accettabile e quindi si può procedere all'orientamento interno degli altri fotogrammi del nostro dataset.

Il software in uso consente di scaricare i file di report (resoconto dell'orientamento) relativo a ciascun fotogramma; di seguito si riporta il contenuto di questi file:

 Nome file immagine: D:\Francesco\Menci\Siena\Fotogrammi\1_7150.tif

Larghezza in pixel = 16644
Altezza in pixel = 16644
Focale = 303.550000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 815.770348, 622.505490 (-0.001897,
-0.000765)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15958.353063, 649.370400 (0.001897,
0.000765)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15930.745824, 15791.048428 (-0.001897,
-0.000765)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 788.705455, 15763.965936 (0.001897,
0.000765)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.438791

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.694679

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.425998

1_2 = 0.128944

1_3 = 8373.393673

2_1 = 0.127234

2_2 = -71.422496

2_3 = 8206.722564

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000008

Controdistorsione = 0

Nome file immagine: D:\Francesco\Menci\Siena\Fotogrammi\1_7151.tif

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 820.493835, 619.507568 (-0.003521,
-0.000059)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15963.497070, 646.496338 (0.003521,
0.000059)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15936.494141, 15788.496094 (-0.003521,
-0.000059)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 794.496826, 15761.492188 (0.003521,
0.000059)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.505848

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.653035

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.426888

1_2 = 0.125000

1_3 = 8378.745468

2_1 = 0.127341

2_2 = -71.424491

2_3 = 8203.998047

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000025

Controdistorsione = 0

Nome file immagine: D:\Francesco\Menci\Siena\Fotogrammi\1_7152.tif

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 811.494263, 619.499023 (-0.000000, 0.000000)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15954.504883, 646.499756 (0.000000, 0.000000)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15926.505859, 15788.499023 (-0.000000, -0.000000)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 784.507446, 15760.501953 (0.000000, -0.000000)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 0.014000
1_2 = 0.000025
1_3 = -117.376986
2_1 = 0.000025
2_2 = -0.014001
2_3 = 114.653191
3_1 = 0.000000
3_2 = -0.000000
3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 71.424276
1_2 = 0.127049
1_3 = 8368.999639
2_1 = 0.127161
2_2 = -71.424728
2_3 = 8203.998681
3_1 = -0.000000
3_2 = -0.000000
3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000000

Controdistorsione = 0

Nome file immagine: D:\Francesco\Menci\Siena\Fotogrammi\2_7138.tif

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 823.147594, 624.280052 (-0.000000, 0.000000)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15966.936950, 651.293573 (-0.000000,
0.000000)
03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15938.392688, 15793.266502 (0.000000,
-0.000000)
04 - -106.000000, -106.000000 <-> 796.888800, 15765.602277 (-0.000000,
-0.000000)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 0.013999
1_2 = 0.000025
1_3 = -117.538932
2_1 = 0.000025
2_2 = -0.014000
2_3 = 114.718872
3_1 = 0.000000
3_2 = -0.000000
3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 71.429986
1_2 = 0.123296
1_3 = 8381.659978
2_1 = 0.127290
2_2 = -71.432825
2_3 = 8209.654644
3_1 = -0.000000
3_2 = -0.000001
3_3 = 1.000058

Sigma globale = 0.000000

Controdistorzione = 0

Nome file immagine: D:\Francesco\Menci\Siena\Fotogrammi\2_7139.tif

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 823.501587, 624.501587 (-0.006987, -0.000064)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15967.500977, 651.503540 (0.006987, 0.000064)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15939.498047, 15793.507813 (-0.006988, -0.000064)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 797.495117, 15766.491211 (0.006988, 0.000064)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.551455

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.722863

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.429251

1_2 = 0.127381

1_3 = 8381.998932

2_1 = 0.127402

2_2 = -71.424514

2_3 = 8209.001038

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000098

Controdistorzione = 0

Nome file immagine: D:\Francesco\Menci\Siena\Fotogrammi\2_7140.tif

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 818.491821, 628.504700 (-0.003541,
-0.000053)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15961.504883, 651.506775 (0.003541,
0.000053)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15937.500000, 15793.508789 (-0.003542,
-0.000053)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 795.498779, 15770.493164 (0.003542,
0.000053)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000022

1_3 = -117.476320

2_1 = 0.000021

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.782081

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.426921
1_2 = 0.110844
1_3 = 8378.248871
2_1 = 0.108532
2_2 = -71.424506
2_3 = 8211.003357
3_1 = 0.000000
3_2 = 0.000000
3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000025

Controdistorzione = 0

3.5 – Orientamento esterno.

L'operazione di orientamento esterno ci consente di ricostruire il modello nel sistema terra. Per far ciò, si ha la necessità di avere alcuni dati fondamentali, quali le monografie dei punti di controllo che saranno utilizzate durante la procedura di orientamento. Attraverso il software Z-Map Photo abbiamo la possibilità di scegliere due tipologie di orientamento, l'orientamento Relativo-Assoluto (vedi 1.5.1 e 1.5.2) e la Triangolazione Aerea (1.6).

Con il metodo Relativo-Assoluto si ha la netta distinzione tra la fase di orientamento relativo (1.5.1) e quella di orientamento assoluto (1.5.2) mentre con la triangolazione aerea le due operazioni avvengono quasi in contemporanea (1.6).

Nel nostro caso si è scelto il metodo per triangolazione aerea perché ritenuto quello più rapido e completo.

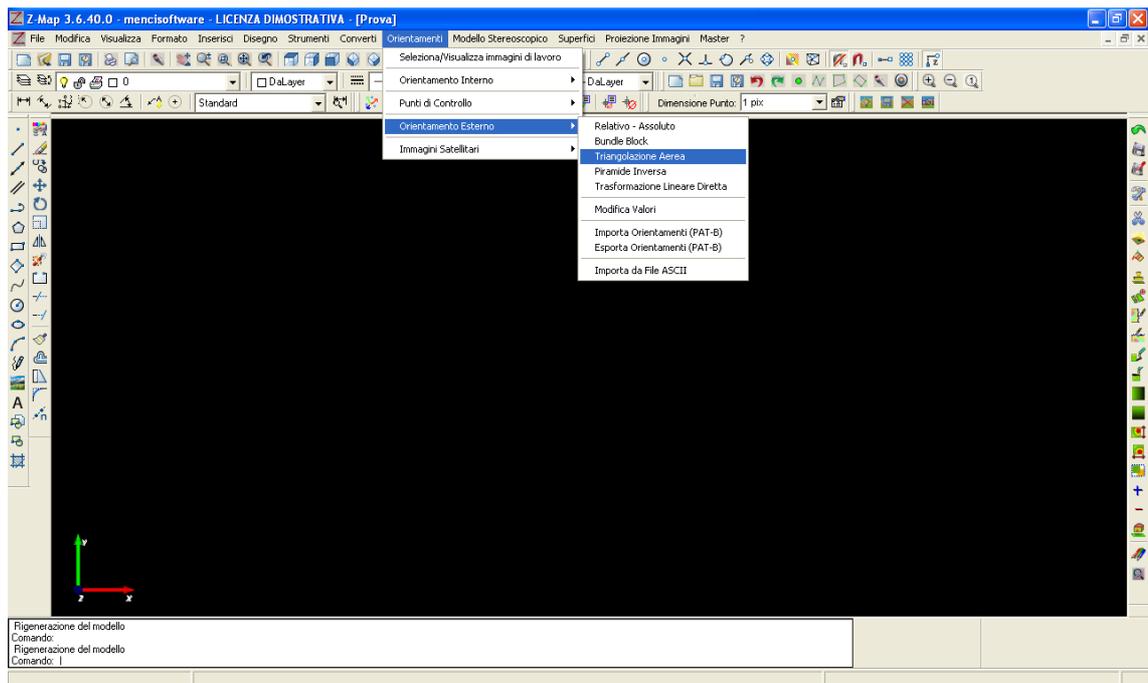


Figura 43 - Menù per giungere alla Triangolazione Aerea.

Una volta selezionato dal menù orientamenti la Triangolazione Aerea ci appare a video la seguente finestra:

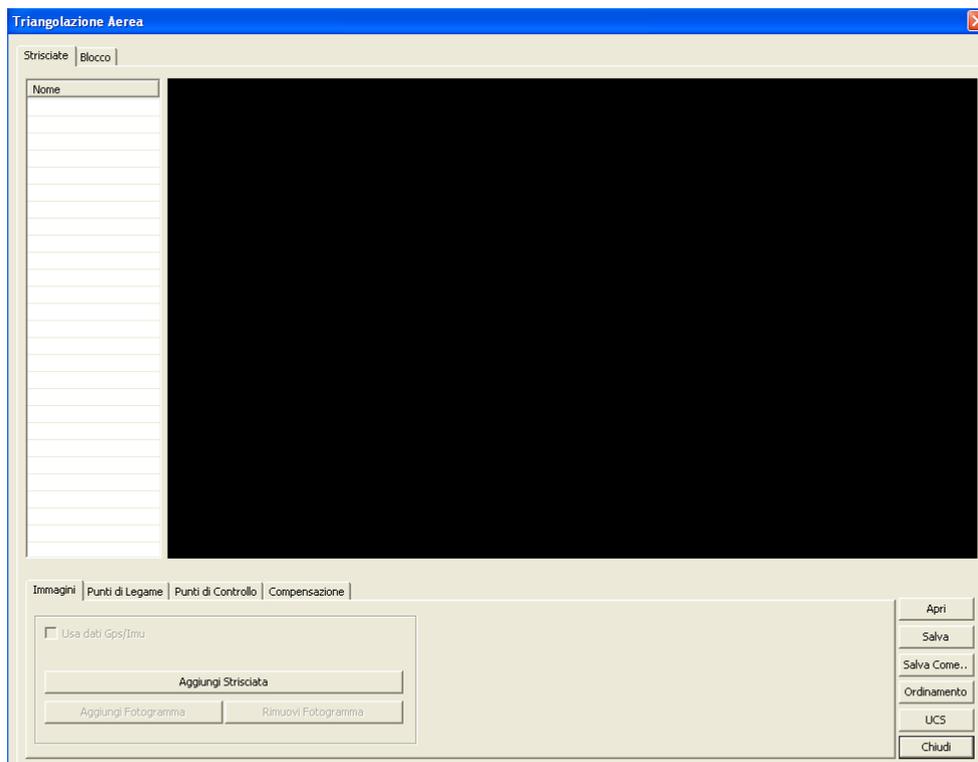


Figura 44 - Finestra per la Triangolazione Aerea.

A questo punto dopo aver dato un identificativo alla strisciata, bisogna inserire i fotogrammi che la compongono:

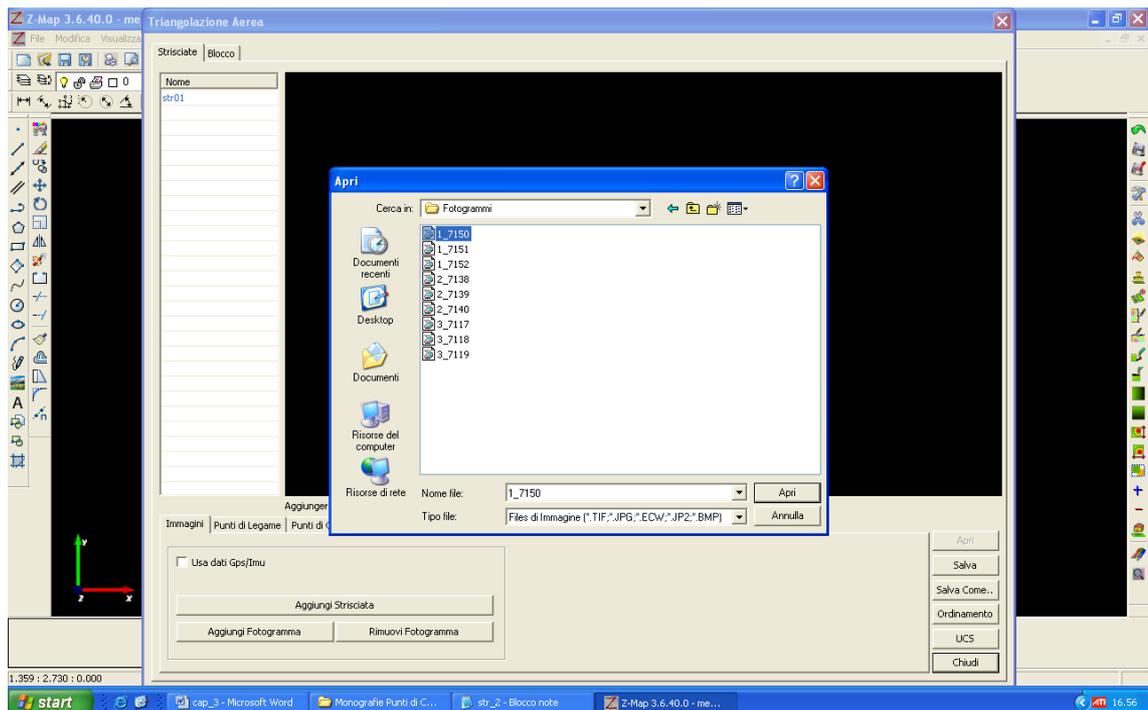


Figura 45 - Inserimento fotogrammi.

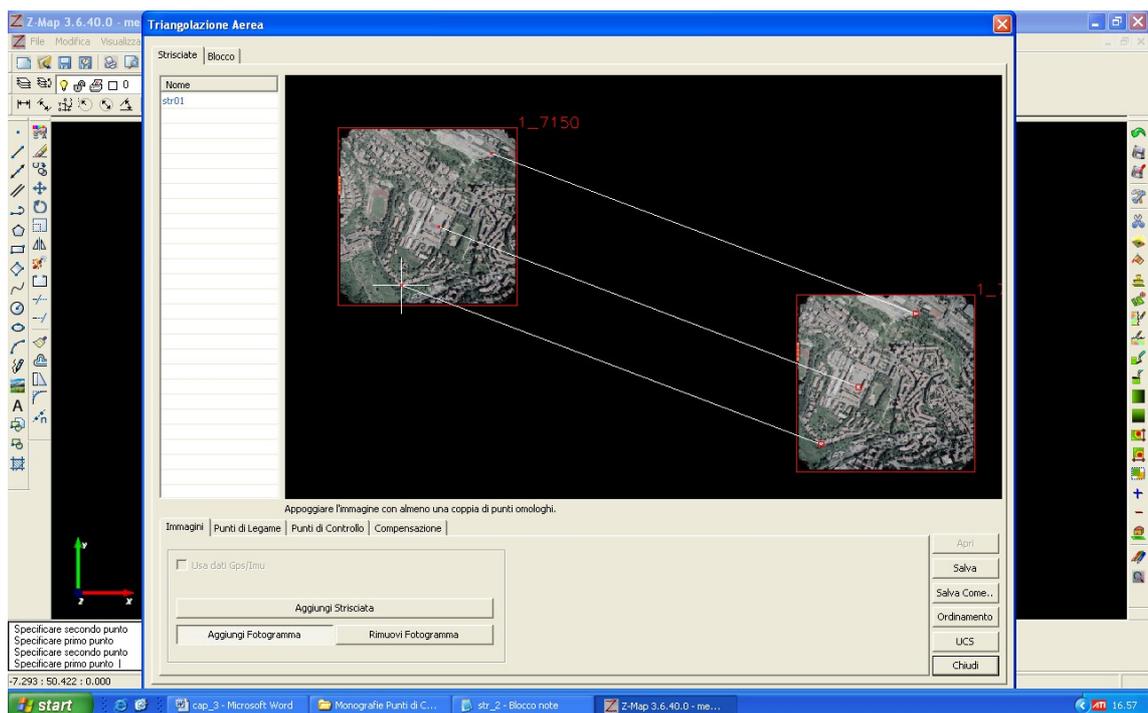


Figura 46 - Collegamento delle immagini attraverso punti omologhi.

Dal secondo fotogramma bisogna accoppiare l'immagine successiva con almeno due punti omologhi, per maggiore precisione si è deciso di inserire tre punti omologhi. Con i punti omologhi si ottiene un primo modello approssimato della strisciata fondato sulle caratteristiche comuni delle matrici delle immagini.

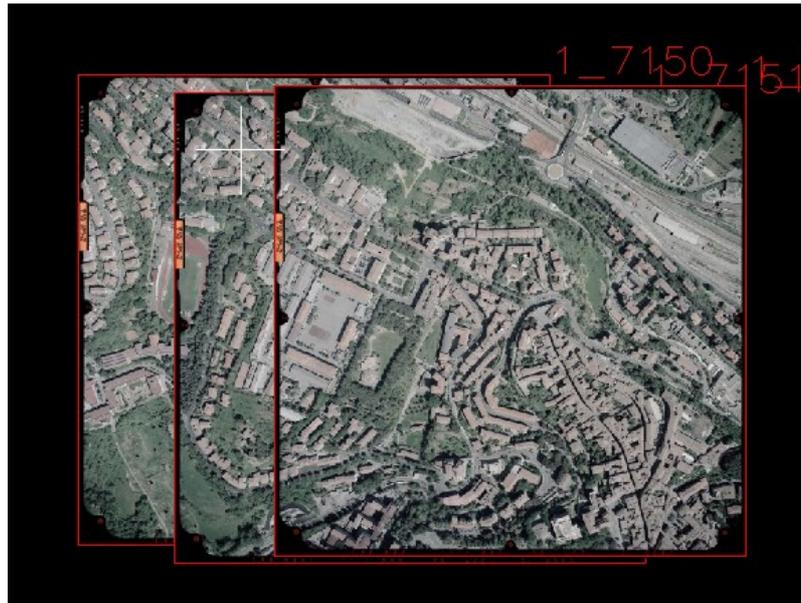


Figura 47 - Strisciata costituita sui punti omologhi.

Dopo aver ottenuto un modello approssimativo costituito sui punti omologhi si passa all'inserimento dei punti di legame che devono essere almeno tre per ogni zona di sovrapposizione tra i fotogrammi. I punti di legame sono punti ben visibili su almeno due fotogrammi. Per aggiungere i punti si clicca su aggiungi punti dopo aver cliccato l'etichetta punti di legame.

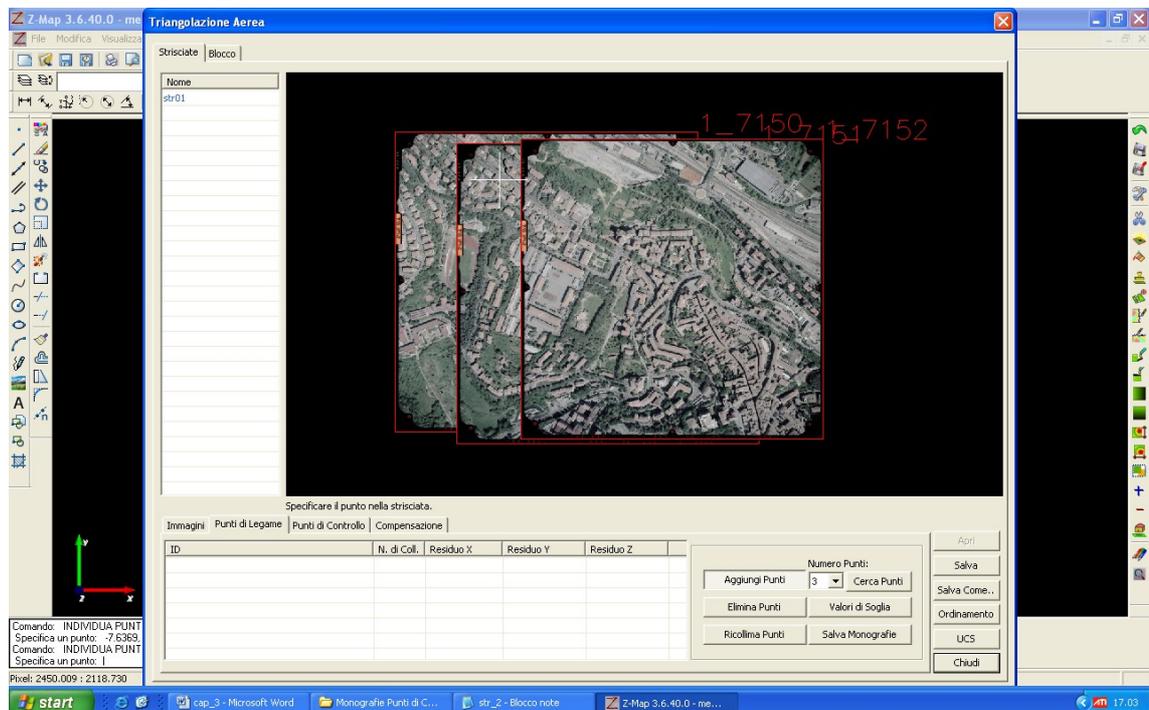


Figura 48 - Avvio inserimento punti di legame.

Una volta cliccato su aggiungi punti si aprirà la finestra di collimazione, è preferibile selezionare dei punti ben visibili, e dato che il software in oggetto non consente la collimazione in stereoscopia è consigliabile scegliere punti planimetrici come ad esempio segnaletica orizzontale.

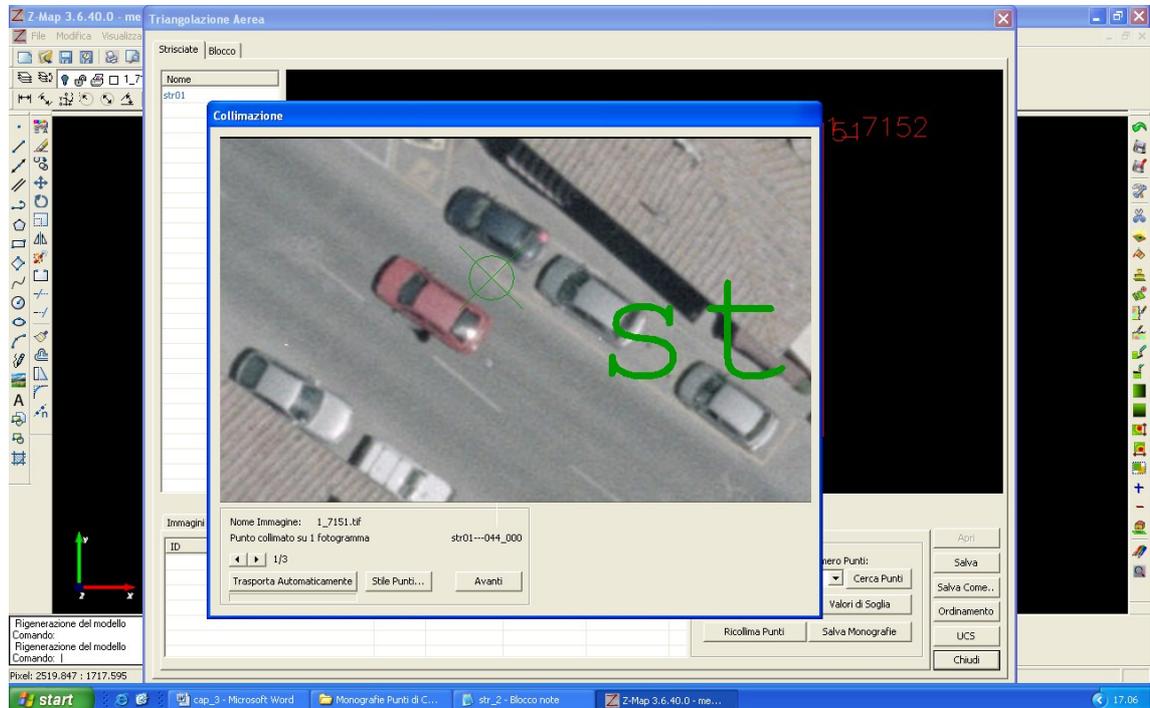


Figura 49 - Collimazione punto di legame.

Una volta terminata la collimazione dei punti di legame che formano l'orientamento relativo, si passa alla collimazione dei punti di controllo.

I punti di controllo sono dei punti di coordinate note che verranno utilizzati per il calcolo dell'orientamento assoluto. Le indicazioni sulla posizione di questi punti sono fornite in apposite monografie che contengono la visione dell'intera area, la visione del particolare scelto come riferimento e le sue coordinate nel sistema di riferimento scelto. I punti in nostro possesso sono nelle coordinate UTM - World Geodetic System 1984 - 32 Nord.

Una volta importati i punti si dovranno eseguire le collimazioni seguendo le indicazioni riportate nelle apposite monografie. Per prima cosa si individua l'area dove ricade il punto e si esegue un clic in quell'area;

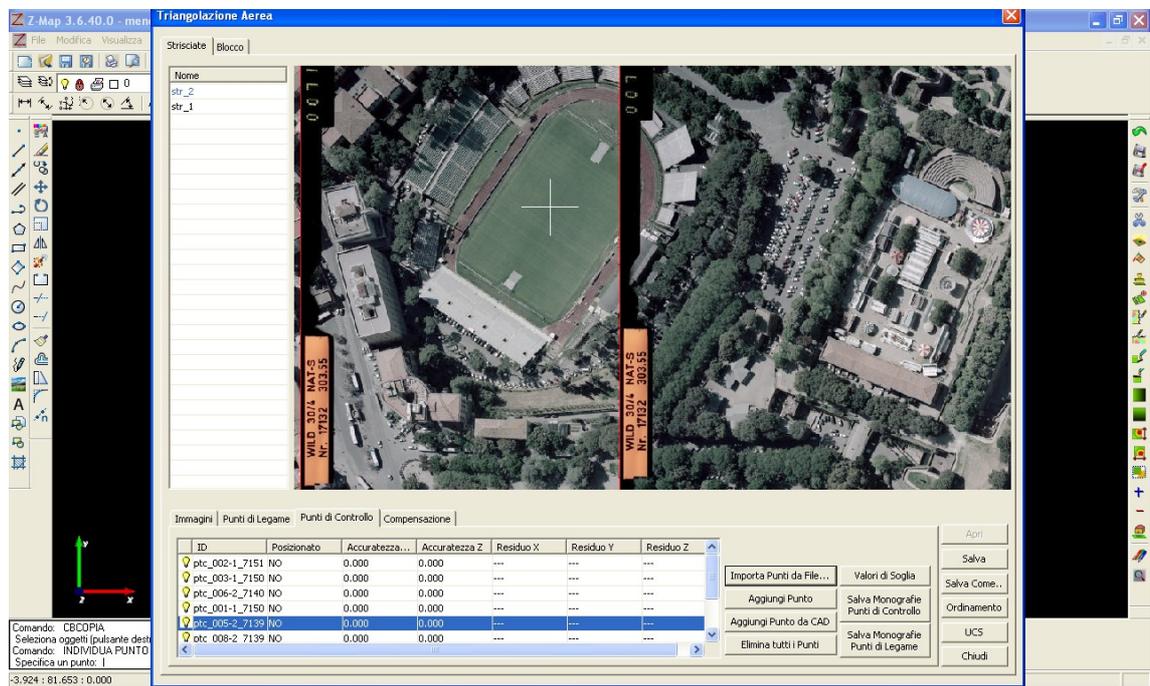


Figura 52 - Individuazione punto di controllo.

Eseguito il clic si aprirà la finestra di collimazione come già visto per i punti di legame. Una volta terminato l'inserimento dei punti di legame possiamo passare al calcolo dell'orientamento esterno:

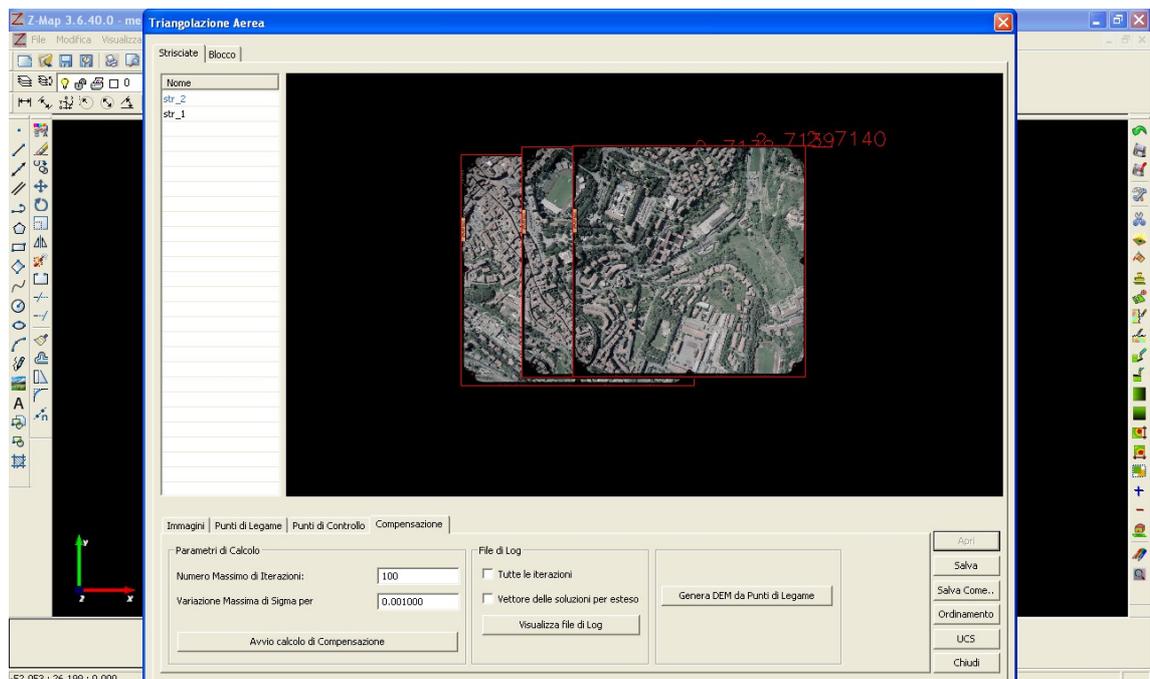


Figura 53 - Finestra per il calcolo di compensazione.

È possibile settare alcuni parametri per il calcolo dell'orientamento quali il numero massimo di iterazioni e la massima variazione ammessa per sigma, per questi parametri si sono inseriti i seguenti valori:

- Numero Massimo di Iterazioni = 100
- Variazione Massima di Sigma per = 0,001

Dopo aver settato questi valori passiamo al calcolo di compensazione. Dopo il calcolo ci appare la finestra dei punti di controllo come nella figura seguente:

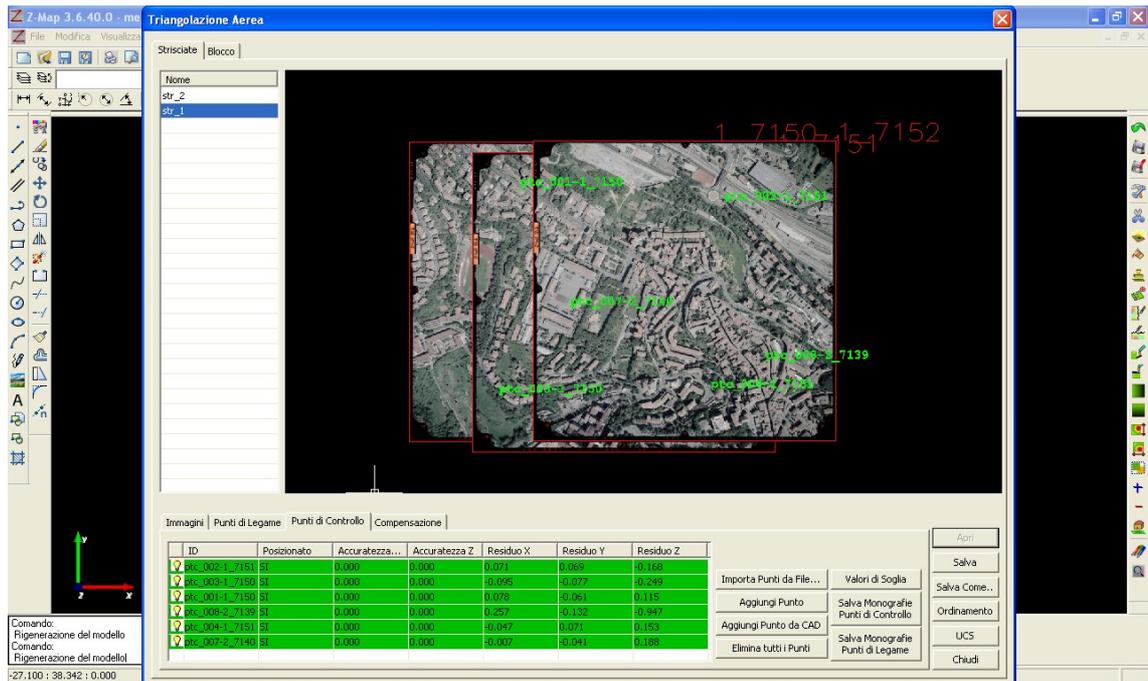


Figura 54 - Punti di controllo dopo il calcolo di compensazione.

I punti di controllo saranno evidenziati da un colore verde quando i loro residui sono inferiori a quelli da noi impostati in precedenza, se superiori appariranno rossi.

Di seguito si riportano i file di log delle due strisciate:

%%%%%%%%%%%%%% COMPENSAZIONE A STELLE PROIETTIVE %%%%%%%%%%%%%%%
 %%%%%%%%%%%%%%%

Stazione Fotogrammetrica - mencisoftware - www.menci.com

%%%%%%%%%%%%%% DATI IN INGRESSO %%%%%%%%%%%%%%%

Nome del file di progetto: D:\Francesco\Menci\Progetto\Triangolazione Aerea\Strisciate\str_1\str_1.zbb

Data: 03/31/09

Ora: 11:45:10

Numero di immagini: 3
Numero massimo d'iterazioni: 100
Condizione di convergenza (delta sigma < di): 0.001000

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7150.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644
Altezza in pixel = 16644
Focale = 303.550000
Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 815.770348, 622.505490 (-0.001897, -0.000765)
02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15958.353063, 649.370400 (0.001897, 0.000765)
03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15930.745824, 15791.048428 (-0.001897, -0.000765)
04 - -106.000000, -106.000000 <-> 788.705455, 15763.965936 (0.001897, 0.000765)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000
1_2 = 0.000025
1_3 = -117.438791
2_1 = 0.000025
2_2 = -0.014001
2_3 = 114.694679
3_1 = 0.000000
3_2 = 0.000000
3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.425998
1_2 = 0.128944
1_3 = 8373.393673
2_1 = 0.127234
2_2 = -71.422496
2_3 = 8206.722564
3_1 = 0.000000
3_2 = 0.000000
3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000008

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Controdistorsione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innesco del calcolo

Nx 1688140.619, Ny 4799816.928, Nz 1458.710

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 0.042

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7151.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 820.493835, 619.507568 (-0.003521, -0.000059)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15963.497070, 646.496338 (0.003521, 0.000059)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15936.494141, 15788.496094 (-0.003521, -0.000059)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 794.496826, 15761.492188 (0.003521, 0.000059)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.505848

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.653035

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.426888

1_2 = 0.125000

1_3 = 8378.745468

2_1 = 0.127341

2_2 = -71.424491

2_3 = 8203.998047

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000025

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Controdistorzione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innescio del calcolo

Nx 1688326.232, Ny 4799793.070, Nz 1458.710

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 0.042

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7152.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 811.494263, 619.499023 (0.000000, 0.000000)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15954.504883, 646.499756 (0.000000, 0.000000)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15926.505859, 15788.499023 (0.000000, 0.000000)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 784.507446, 15760.501953 (0.000000, 0.000000)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.376986

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.653191

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 71.424276

1_2 = 0.127049

1_3 = 8368.999639

2_1 = 0.127161

2_2 = -71.424728

2_3 = 8203.998681

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Controdistorsione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innescio del calcolo

Nx 1688502.694, Ny 4799834.247, Nz 1458.710

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 0.042

%%%%%%%%%% CALCOLO %%%%%%%%%%

Numero di equazioni 72

Numero di incognite 45

%%%%%%%%%% SOLUZIONE %%%%%%%%%%

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7150.tif

Nx 1688135.071, Ny 4799812.430, Nz 1463.221

Omega 0.014, Phi -0.001, Kappa 0.050

Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

--

ID	X	Y	Z	dx(pix)	dy(pix)	dx(suolo)	dy(suolo)
----	---	---	---	---------	---------	-----------	-----------

--

0.055	ptc_003-1_7150 0.003	1687948.725	4799534.945	309.208	-1.035	0.012	
-0.063	ptc_001-1_7150 0.022	1687983.644	4800142.347	332.175	1.170	0.489	
0.004	ptc_007-2_7140 0.077	1688154.052	4799797.551	343.194	-0.149	1.478	
-0.031	ptc_004-1_7151 -0.067	1688569.380	4799576.091	323.508	0.643	-1.247	

--

SQMx(pix)	SQMy(pix)	SQMx(suolo)	SQMy(suolo)
-----------	-----------	-------------	-------------

--

0.833	0.981	0.043	0.054
-------	-------	-------	-------

--

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7151.tif

Nx 1688323.682, Ny 4799814.192, Nz 1464.703
Omega -0.009, Phi -0.002, Kappa 0.050

Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

```
--
-----
--
ID      | X      | Y      | Z      | dx(pix) | dy(pix) | dx(suolo) |
dy(suolo)
-----
--
-0.031  ptc_002-1_7151  1688593.407  4800132.014  287.600  0.637  -1.293
-0.072
0.013   ptc_003-1_7150  1687948.725  4799534.945  309.208  -0.280  0.565
0.031
-0.044  ptc_001-1_7150  1687983.644  4800142.347  332.175  0.815  0.696
0.034
0.077   ptc_008-2_7139  1688723.009  4799665.634  341.776  -1.567  1.346
0.074
0.035   ptc_007-2_7140  1688154.052  4799797.551  343.194  -0.696  0.173
0.011
0.015   ptc_004-1_7151  1688569.380  4799576.091  323.508  -0.223  -1.083
-0.057
-----
--
```

```
--
-----
--
SQMy(suolo)      SQMx(pix)|  SQMy(pix)|  SQMx(suolo)|
-----
--
0.801  0.996  0.040  0.052
-----
--
```

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7152.tif

Nx 1688511.505, Ny 4799820.228, Nz 1466.306
Omega 0.003, Phi -0.004, Kappa 0.042

Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

--

ID	X	Y	Z	dx(pix)	dy(pix)	dx(suolo)	dy(suolo)
----	---	---	---	---------	---------	-----------	-----------

ptc_002-1_7151	1688593.407	4800132.014	287.600	1.097	0.488		
0.024							
ptc_008-2_7139	1688723.009	4799665.634	341.776	1.536	-1.159		
-0.063							
ptc_007-2_7140	1688154.052	4799797.551	343.194	-1.294	-0.013		
0.002							
ptc_004-1_7151	1688569.380	4799576.091	323.508	-0.718	-0.404		
-0.020							

SQMx(pix)	SQMy(pix)	SQMx(suolo)	SQMy(suolo)
-----------	-----------	-------------	-------------

1.189	0.738	0.062	0.033
-------	-------	-------	-------

Coordinate punti ricalcolate

ID	X	Y	Z
ptc_003-1_7150	1687948.725	4799534.945	309.208
ptc_001-1_7150	1687983.644	4800142.347	332.175
ptc_007-2_7140	1688154.052	4799797.551	343.194
ptc_004-1_7151	1688569.380	4799576.091	323.508
ptc_002-1_7151	1688593.407	4800132.014	287.600
ptc_008-2_7139	1688723.009	4799665.634	341.776

Residui punti di controllo

ID	ResX(ud)	ResY(ud)	ResZ(ud)
ptc_002-1_7151	0.071	0.069	-0.168
ptc_003-1_7150	-0.095	-0.077	-0.249
ptc_001-1_7150	0.078	-0.061	0.115
ptc_008-2_7139	0.257	-0.132	-0.947
ptc_007-2_7140	-0.007	-0.041	0.188
ptc_004-1_7151	-0.047	0.071	0.153

%%%%%%%%%%%%%% COMPENSAZIONE A STELLE PROIETTIVE %%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%

Stazione Fotogrammetrica - mencisoftware - www.menci.com

%%%%%%%%%%%%%% DATI IN INGRESSO %%%%%%%%%%%%%%%

Nome del file di progetto: D:\Francesco\Menci\Progetto\Triangolazione Aerea\Strisciate\str_2\str_2.zbb

Data: 03/09/09

Ora: 11:49:11

Numero di immagini: 3

Numero massimo d'iterazioni: 100

Condizione di convergenza (delta sigma < di): 0.001000

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7140.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild_rc30_152.94_sienamarco

Collimazioni fiduciali - 4

1 - -106.005000, 106.005000 <-> 817.808717, 628.989361 (-0.003737, -0.003317)

2 - 106.002000, 106.001000 <-> 15961.538032, 651.811751 (0.003736, 0.003317)

3 - 106.003000, -106.004000 <-> 15938.119474, 15794.087341 (-0.003737, -0.003317)

4 - -105.996000, -105.996000 <-> 796.031061, 15770.034005 (0.003737, 0.003318)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000021

1_3 = -117.471505

2_1 = 0.000021

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.790936

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.427808

1_2 = 0.108278

1_3 = 8378.302731

2_1 = 0.108533

2_2 = -71.421912

2_3 = 8211.337639

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000050

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 15

R = 10.000000 <-> DR = 0.000000

R = 20.000000 <-> DR = 0.100000

R = 30.000000 <-> DR = -0.100000

R = 40.000000 <-> DR = -0.300000

R = 50.000000 <-> DR = -0.500000

R = 60.000000 <-> DR = -0.900000

R = 70.000000 <-> DR = -1.000000

R = 80.000000 <-> DR = -1.100000

R = 90.000000 <-> DR = -0.300000

R = 100.000000 <-> DR = 0.200000

R = 110.000000 <-> DR = 1.200000

R = 120.000000 <-> DR = 1.300000

R = 130.000000 <-> DR = 0.500000

R = 140.000000 <-> DR = -0.400000

R = 148.000000 <-> DR = -1.400000

Controdistorzione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innesco del calcolo

Nx 1688178.371, Ny 4799472.297, Nz 1458.830

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 3.124

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7138.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 823.147594, 624.280052 (0.000000, 0.000000)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15966.936950, 651.293573 (0.000000, 0.000000)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15938.392688, 15793.266502 (0.000000, 0.000000)
04 - -106.000000, -106.000000 <-> 796.888800, 15765.602277 (0.000000, 0.000000)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 0.013999
1_2 = 0.000025
1_3 = -117.538932
2_1 = 0.000025
2_2 = -0.014000
2_3 = 114.718872
3_1 = 0.000000
3_2 = 0.000000
3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 71.429986
1_2 = 0.123296
1_3 = 8381.659978
2_1 = 0.127290
2_2 = -71.432825
2_3 = 8209.654644
3_1 = 0.000000
3_2 = -0.000001
3_3 = 1.000058

Sigma globale = 0.000000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Controdistorsione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innesco del calcolo

Nx 1688599.442, Ny 4799497.772, Nz 1458.830

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 3.124

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7139.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild_rc30_152.94_sienamarco

Collimazioni fiduciali - 4

1 - -106.005000, 106.005000 <-> 823.797387, 624.573759 (-0.003862, 0.002526)

2 - 106.002000, 106.001000 <-> 15967.490997, 651.981709 (0.003862, -0.002526)
3 - 106.003000, -106.004000 <-> 15939.569016, 15793.468781 (-0.003862, 0.002527)
4 - -105.996000, -105.996000 <-> 797.549436, 15766.499917 (0.003862, -0.002527)

Matrice Pixel->Fiduciale
Trasformazione = AFFINE
1_1 = 0.014000
1_2 = 0.000025
1_3 = -117.557999
2_1 = 0.000025
2_2 = -0.014001
2_3 = 114.731937
3_1 = 0.000000
3_2 = 0.000000
3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel
Trasformazione = AFFINE
1_1 = 71.427562
1_2 = 0.129442
1_3 = 8382.030087
2_1 = 0.126224
2_2 = -71.422131
2_3 = 8209.238048
3_1 = 0.000000
3_2 = 0.000000
3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000043

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 15

R = 10.000000 <-> DR = 0.000000
R = 20.000000 <-> DR = 0.100000
R = 30.000000 <-> DR = -0.100000
R = 40.000000 <-> DR = -0.300000
R = 50.000000 <-> DR = -0.500000
R = 60.000000 <-> DR = -0.900000
R = 70.000000 <-> DR = -1.000000
R = 80.000000 <-> DR = -1.100000
R = 90.000000 <-> DR = -0.300000
R = 100.000000 <-> DR = 0.200000
R = 110.000000 <-> DR = 1.200000
R = 120.000000 <-> DR = 1.300000
R = 130.000000 <-> DR = 0.500000
R = 140.000000 <-> DR = -0.400000
R = 148.000000 <-> DR = -1.400000

Controdistorsione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innesco del calcolo

Nx 1688370.385, Ny 4799473.466, Nz 1458.830
 Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 3.124

%%%%%%%%%% CALCOLO %%%%%%%%%%

Numero di equazioni 76
 Numero di incognite 45

%%%%%%%%%% SOLUZIONE %%%%%%%%%%

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7140.tif

 Nx 1688161.882, Ny 4799464.591, Nz 1466.703
 Omega 0.001, Phi -0.006, Kappa 3.111

Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

ID	X	Y	Z	dx(pix)	dy(pix)	dx(suolo)	dy(suolo)
ptc_003-1_7150	1687948.725	4799534.945	309.208	4.674	-0.491		
0.250	0.019						
ptc_006-2_7140	1688218.904	4799148.474	340.373	-0.097	2.515		
-0.009	-0.130						
ptc_004-1_7151	1688569.380	4799576.091	323.508	-1.528	-1.052		
-0.079	0.058						
ptc_007-2_7140	1688154.052	4799797.551	343.194	-2.765	-4.324		
-0.137	0.228						

SQMx(pix)	SQMy(pix)	SQMx(suolo)	SQMy(suolo)
2.820	2.592	0.148	0.133

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7138.tif

 Nx 1688621.599, Ny 4799472.675, Nz 1462.231
 Omega 0.016, Phi 0.016, Kappa 3.122

 Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

```
--
      ID          |  X  |  Y  |  Z  |  dx(pix) |  dy(pix) |  dx(suolo) |
dy(suolo)
-----
--
      ptc_006-2_7140  1688218.904  4799148.474  340.373  0.973  1.730
0.050  -0.090
      ptc_005-2_7139  1688679.554  4799176.327  317.581  -2.484  0.079
-0.130  -0.002
      ptc_008-2_7139  1688723.009  4799665.634  341.776  -0.068  1.953
-0.005  -0.101
      ptc_004-1_7151  1688569.380  4799576.091  323.508  2.240  -0.126
0.118   0.004
-----
```

```
--
                                             SQMx(pix)|  SQMy(pix)|  SQMx(suolo)|
SQMy(suolo)
-----
                                             1.734    1.197    0.091    0.073
-----
--
```

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7139.tif

 Nx 1688391.734, Ny 4799470.215, Nz 1465.888
 Omega -0.000, Phi 0.020, Kappa 3.122

 Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

```
--
      ID          |  X  |  Y  |  Z  |  dx(pix) |  dy(pix) |  dx(suolo) |
dy(suolo)
-----
--
      ptc_003-1_7150  1687948.725  4799534.945  309.208  5.949  0.644
0.321  -0.041
      ptc_006-2_7140  1688218.904  4799148.474  340.373  -0.367  4.554
-0.023  -0.237
      ptc_005-2_7139  1688679.554  4799176.327  317.581  -1.852  0.017
-0.097   0.000
-----
```

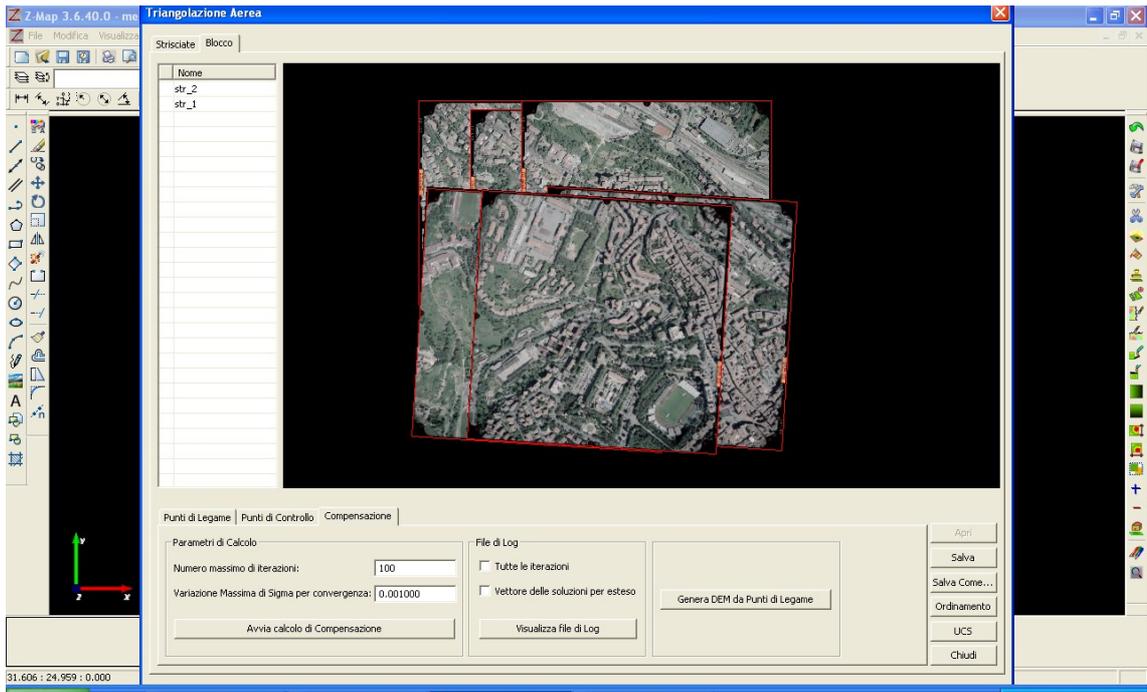



Figura 55 - Finestra di compensazione per il blocco.

Di seguito si riporta il contenuto del file di log finale:

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% COMPENSAZIONE A STELLE PROIETTIVE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Stazione Fotogrammetrica - mencisoftware - www.menci.com

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DATI IN INGRESSO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Nome del file di progetto: D:\Francesco\Menci\Progetto\Triangolazione Aerea\Blocco\Blocco.zbb
 Data: 05/15/09
 Ora: 17:49:18

Numero di immagini: 6
 Numero massimo d'iterazioni: 100
 Condizione di convergenza (delta sigma < di): 0.001000

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7140.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644
 Altezza in pixel = 16644
 Focale = 303.550000
 Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild_rc30_152.94_sienamarco

Collimazioni fiduciali - 4

1 - -106.005000, 106.005000 <-> 817.808717, 628.989361 (-0.003737, -0.003317)
2 - 106.002000, 106.001000 <-> 15961.538032, 651.811751 (0.003736, 0.003317)
3 - 106.003000, -106.004000 <-> 15938.119474, 15794.087341 (-0.003737, -0.003317)
4 - -105.996000, -105.996000 <-> 796.031061, 15770.034005 (0.003737, 0.003318)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000
1_2 = 0.000021
1_3 = -117.471505
2_1 = 0.000021
2_2 = -0.014001
2_3 = 114.790936
3_1 = 0.000000
3_2 = 0.000000
3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.427808
1_2 = 0.108278
1_3 = 8378.302731
2_1 = 0.108533
2_2 = -71.421912
2_3 = 8211.337639
3_1 = 0.000000
3_2 = 0.000000
3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000050

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 15

R = 10.000000 <-> DR = 0.000000
R = 20.000000 <-> DR = 0.100000
R = 30.000000 <-> DR = -0.100000
R = 40.000000 <-> DR = -0.300000
R = 50.000000 <-> DR = -0.500000
R = 60.000000 <-> DR = -0.900000
R = 70.000000 <-> DR = -1.000000
R = 80.000000 <-> DR = -1.100000
R = 90.000000 <-> DR = -0.300000
R = 100.000000 <-> DR = 0.200000
R = 110.000000 <-> DR = 1.200000
R = 120.000000 <-> DR = 1.300000
R = 130.000000 <-> DR = 0.500000
R = 140.000000 <-> DR = -0.400000
R = 148.000000 <-> DR = -1.400000

Controdistorzione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innescio del calcolo

Nx 1688168.994, Ny 4799474.260, Nz 1462.098

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 3.134

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7150.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 815.770348, 622.505490 (-0.001897, -0.000765)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15958.353063, 649.370400 (0.001897, 0.000765)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15930.745824, 15791.048428 (-0.001897, -0.000765)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 788.705455, 15763.965936 (0.001897, 0.000765)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.438791

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.694679

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.425998

1_2 = 0.128944

1_3 = 8373.393673

2_1 = 0.127234

2_2 = -71.422496

2_3 = 8206.722564

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000008

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Controdistorsione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innescio del calcolo

Nx 1688147.837, Ny 4799811.994, Nz 1462.098

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 0.054

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7151.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 820.493835, 619.507568 (-0.003521, -0.000059)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15963.497070, 646.496338 (0.003521, 0.000059)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15936.494141, 15788.496094 (-0.003521, -0.000059)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 794.496826, 15761.492188 (0.003521, 0.000059)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.505848

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.653035

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.426888

1_2 = 0.125000

1_3 = 8378.745468

2_1 = 0.127341

2_2 = -71.424491

2_3 = 8203.998047

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000025

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Controdistorsione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innescio del calcolo

Nx 1688334.266, Ny 4799790.353, Nz 1462.098

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 0.054

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7152.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 811.494263, 619.499023 (0.000000, 0.000000)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15954.504883, 646.499756 (0.000000, 0.000000)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15926.505859, 15788.499023 (0.000000, 0.000000)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 784.507446, 15760.501953 (0.000000, 0.000000)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.376986

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.653191

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 71.424276

1_2 = 0.127049

1_3 = 8368.999639

2_1 = 0.127161

2_2 = -71.424728

2_3 = 8203.998681

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Controdistorsione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innesco del calcolo

Nx 1688510.719, Ny 4799833.817, Nz 1462.098

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 0.054

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7138.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild 303.55

Collimazioni fiduciali - 4

01 - -106.000000, 106.000000 <-> 823.147594, 624.280052 (0.000000, 0.000000)

02 - 106.000000, 106.000000 <-> 15966.936950, 651.293573 (0.000000, 0.000000)

03 - 106.000000, -106.000000 <-> 15938.392688, 15793.266502 (0.000000, 0.000000)

04 - -106.000000, -106.000000 <-> 796.888800, 15765.602277 (0.000000, 0.000000)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 0.013999

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.538932

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014000

2_3 = 114.718872

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = OMOGRAFICA

1_1 = 71.429986

1_2 = 0.123296

1_3 = 8381.659978

2_1 = 0.127290

2_2 = -71.432825

2_3 = 8209.654644

3_1 = 0.000000

3_2 = -0.000001

3_3 = 1.000058

Sigma globale = 0.000000

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 0

Controdistorsione - 0

---Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innesco del calcolo

Nx 1688594.527, Ny 4799504.271, Nz 1462.098

Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 3.134

----- FOTOGRAMMA d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7139.tif -----

---Orientamento interno

Larghezza in pixel = 16644

Altezza in pixel = 16644

Focale = 303.550000

Rotazione scansione = 0.000000

Nome file camera - wild_rc30_152.94_sienamarco

Collimazioni fiduciali - 4

1 - -106.005000, 106.005000 <-> 823.797387, 624.573759 (-0.003862, 0.002526)

2 - 106.002000, 106.001000 <-> 15967.490997, 651.981709 (0.003862, -0.002526)

3 - 106.003000, -106.004000 <-> 15939.569016, 15793.468781 (-0.003862, 0.002527)

4 - -105.996000, -105.996000 <-> 797.549436, 15766.499917 (0.003862, -0.002527)

Matrice Pixel->Fiduciale

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 0.014000

1_2 = 0.000025

1_3 = -117.557999

2_1 = 0.000025

2_2 = -0.014001

2_3 = 114.731937

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Matrice Fiduciale->Pixel

Trasformazione = AFFINE

1_1 = 71.427562

1_2 = 0.129442

1_3 = 8382.030087

2_1 = 0.126224

2_2 = -71.422131

2_3 = 8209.238048

3_1 = 0.000000

3_2 = 0.000000

3_3 = 1.000000

Sigma globale = 0.000043

Distorsione radiale simmetrica (mm <-> um) - 15

R = 10.000000 <-> DR = 0.000000
R = 20.000000 <-> DR = 0.100000
R = 30.000000 <-> DR = -0.100000
R = 40.000000 <-> DR = -0.300000
R = 50.000000 <-> DR = -0.500000
R = 60.000000 <-> DR = -0.900000
R = 70.000000 <-> DR = -1.000000
R = 80.000000 <-> DR = -1.100000
R = 90.000000 <-> DR = -0.300000
R = 100.000000 <-> DR = 0.200000
R = 110.000000 <-> DR = 1.200000
R = 120.000000 <-> DR = 1.300000
R = 130.000000 <-> DR = 0.500000
R = 140.000000 <-> DR = -0.400000
R = 148.000000 <-> DR = -1.400000

Controdistorzione - 0

--Orientamento esterno - valori approssimati iniziali per l'innescio del calcolo

Nx 1688363.148, Ny 4799477.380, Nz 1462.098
Omega 0.000, Phi 0.000, Kappa 3.134

%%%%%%%%%% CALCOLO %%%%%%%%%%

Numero di equazioni 154
Numero di incognite 93

%%%%%%%%%% SOLUZIONE %%%%%%%%%%

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7140.tif

Nx 1688161.882, Ny 4799464.591, Nz 1466.703
Omega 0.001, Phi -0.006, Kappa 3.111

Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

--
ID | X | Y | Z | dx(pix) | dy(pix) | dx(suolo) |
dy(suolo)

--

0.250	ptc_003-1_7150	1687948.725	4799534.945	309.208	4.674	-0.491
	0.019					
-0.009	ptc_006-2_7140	1688218.904	4799148.474	340.373	-0.097	2.515
	-0.130					
-0.079	ptc_004-1_7151	1688569.380	4799576.091	323.508	-1.528	-1.052
	0.058					
-0.137	ptc_007-2_7140	1688154.052	4799797.551	343.194	-2.765	-4.324
	0.228					

--

		SQMx(pix)	SQMy(pix)	SQMx(suolo)
SQMy(suolo)				

--

		2.820	2.592	0.148	0.133
--	--	-------	-------	-------	-------

--

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7150.tif

Nx 1688134.973, Ny 4799812.289, Nz 1463.236
 Omega 0.014, Phi -0.001, Kappa 0.050

Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

--

	ID	X	Y	Z	dx(pix)	dy(pix)	dx(suolo)	dy(suolo)
--	----	---	---	---	---------	---------	-----------	-----------

--

0.054	ptc_003-1_7150	1687948.725	4799534.945	309.208	-1.028	0.021	
	0.004						
-0.080	ptc_001-1_7150	1687983.644	4800142.347	332.175	1.492	0.554	
	0.025						
-0.029	ptc_004-1_7151	1688569.380	4799576.091	323.508	0.627	-1.422	
	-0.076						
-0.006	ptc_007-2_7140	1688154.052	4799797.551	343.194	0.049	1.295	
	0.067						

--

		SQMx(pix)	SQMy(pix)	SQMx(suolo)
SQMy(suolo)				

--

		0.916	1.009	0.048	0.056
--	--	-------	-------	-------	-------

--
Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7151.tif

Nx 1688323.785, Ny 4799814.190, Nz 1464.687
Omega -0.009, Phi -0.001, Kappa 0.050

Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

--
ID | X | Y | Z | dx(pix) | dy(pix) | dx(suolo) |
dy(suolo)

--
ptc_002-1_7151 1688593.407 4800132.014 287.600 0.544 -1.460
-0.025 -0.080
ptc_003-1_7150 1687948.725 4799534.945 309.208 -0.456 0.558
0.023 0.031
ptc_001-1_7150 1687983.644 4800142.347 332.175 0.546 0.798
-0.030 0.040
ptc_008-2_7139 1688723.009 4799665.634 341.776 -1.564 1.469
0.077 0.080
ptc_004-1_7151 1688569.380 4799576.091 323.508 -0.361 -0.935
0.022 -0.048
ptc_007-2_7140 1688154.052 4799797.551 343.194 -1.030 0.197
0.053 0.013

--
SQMx(pix)| SQMy(pix)| SQMx(suolo)|
SQMy(suolo)

--
0.768 1.120 0.038 0.056

--

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\1_7152.tif

Nx 1688511.923, Ny 4799820.114, Nz 1466.305
Omega 0.003, Phi -0.004, Kappa 0.042

Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

```

-----
--
      ID          |  X  |  Y  |  Z  |  dx(pix) |  dy(pix) |  dx(suolo) |
dy(suolo)
-----
--
      ptc_002-1_7151  1688593.407  4800132.014  287.600  1.028  0.426
-0.057  0.021
      ptc_008-2_7139  1688723.009  4799665.634  341.776  1.649  -1.132
-0.083  -0.062
      ptc_004-1_7151  1688569.380  4799576.091  323.508  -0.725  -0.330
0.039   -0.016
      ptc_007-2_7140  1688154.052  4799797.551  343.194  -0.824  0.018
0.042   0.003
-----
--
                                                    SQMx(pix)|  SQMy(pix)|  SQMx(suolo)|
SQMy(suolo)
-----
--
                                                    1.080  0.785  0.056  0.031
-----
--

```

Valori finali dell'orientamento del fotogramma d:\francesco\menci\siena\fotogrammi\2_7138.tif

Nx 1688621.599, Ny 4799472.675, Nz 1462.231

Omega 0.016, Phi 0.016, Kappa 3.122

Verifica delle collimazioni mediante retroproiezione dei punti di controllo

```

-----
--
      ID          |  X  |  Y  |  Z  |  dx(pix) |  dy(pix) |  dx(suolo) |
dy(suolo)
-----
--
      ptc_006-2_7140  1688218.904  4799148.474  340.373  0.973  1.730
0.050  -0.090
      ptc_005-2_7139  1688679.554  4799176.327  317.581  -2.484  0.079
-0.130  -0.002
      ptc_008-2_7139  1688723.009  4799665.634  341.776  -0.068  1.953
-0.005  -0.101
      ptc_004-1_7151  1688569.380  4799576.091  323.508  2.240  -0.126
0.118   0.004

```


Coordinate punti ricalcolate

ID	X	Y	Z
ptc_003-1_7150	1687948.725	4799534.945	309.208
ptc_006-2_7140	1688218.904	4799148.474	340.373
ptc_004-1_7151	1688569.380	4799576.091	323.508
ptc_007-2_7140	1688154.052	4799797.551	343.194
ptc_001-1_7150	1687983.644	4800142.347	332.175
ptc_002-1_7151	1688593.407	4800132.014	287.600
ptc_008-2_7139	1688723.009	4799665.634	341.776
ptc_005-2_7139	1688679.554	4799176.327	317.581

Residui punti di controllo

ID	ResX(ud)	ResY(ud)	ResZ(ud)
ptc_002-1_7151	0.067	0.077	-0.175
ptc_003-1_7150	-0.153	-0.012	-0.004
ptc_006-2_7140	0.011	0.160	-0.083
ptc_001-1_7150	0.120	-0.119	0.298
ptc_005-2_7139	0.139	-0.043	-0.168
ptc_008-2_7139	0.019	0.078	0.184
ptc_004-1_7151	-0.103	-0.106	0.313
ptc_007-2_7140	0.000	-0.035	0.346

Alla fine dell'orientamento, valutata la bontà delle operazioni descritte, il sistema ci dà la possibilità di generare un DEM basato sui punti di legame, questo può essere utile per avere una prima idea sulla morfologia del territorio ma dato che i punti sono abbastanza pochi non può essere ritenuto un DEM completo.

3.6 – Restituzione.

Con l'orientamento interno ed esterno dei fotogrammi abbiamo ottenuto un modello solidale in coordinate UTM - World Geodetic System 1984 - 32 Nord, attraverso questo modello possiamo passare alla fase di restituzione. Lo scopo della restituzione, come visto nel capitolo 2.2, è quello di passare da un modello costituito da sole immagini ad un modello numerico costituito da elementi vettoriali che rappresentano in maniera iconografica le caratteristiche del territorio.

Ogni punto di questi elementi vettoriale dovrà avere coordinate planimetriche e la quota, di conseguenza per poter eseguire questa operazione si ha la necessità di avere un hardware dedicato che consente di vedere in stereoscopia il modello. La Menci Software a tal proposito ha messo a punto un sistema di visualizzazione stereoscopica (Stereo Pro) che richiama un pò le tecnologie del passato (gli stereorestitutori analogici)

con il suo dispositivo di lenti da applicare a monitor lcd da 19'' ma mantenendo tutte le comodità intrinseche dei sistemi digitali.

La prima operazione da eseguire è caricare il modello:

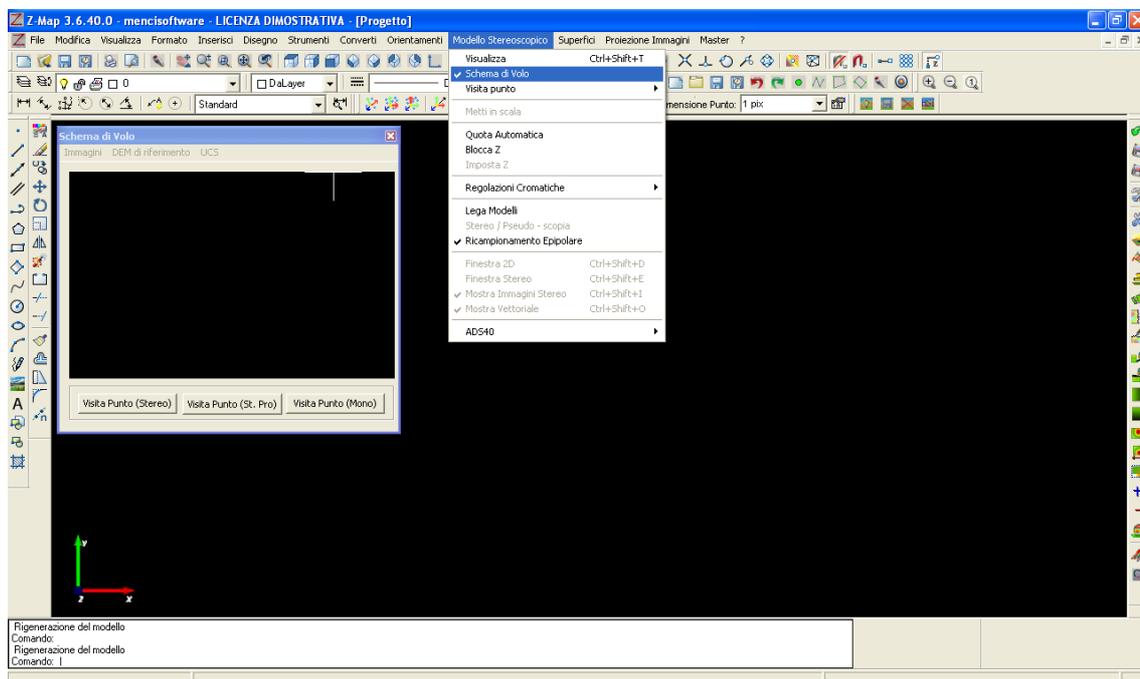


Figura 56 - Caricamento del modello.

Una volta individuati i fotogrammi da includere nel modello (quelli in precedenza orientati), sul monitor principale ci comparirà lo schema di volo:

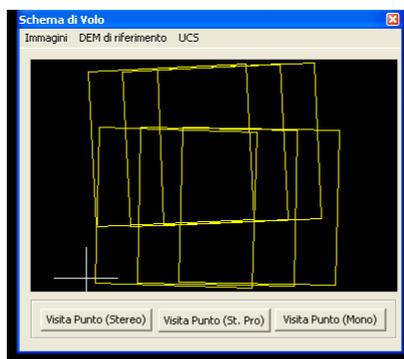


Figura 57 - Schema di volo del modello.

Dal menù immagini possiamo stabilire il sistema di coordinate, nel nostro caso è UTM - World Geodetic System 1984 - 32 Nord:

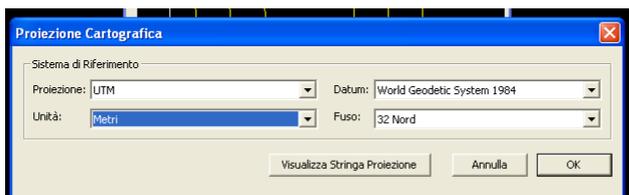


Figura 58 - Scelta proiezioni cartografiche.

Dopo aver settato questo importantissimo parametro possiamo visualizzare il nostro modello in stereoscopia. Z-Map Photo consente di scegliere tra tre diverse modalità di

visita punto, quella attraverso l'utilizzo di monitor stereo (ad esempio Z-screen), quello attraverso Stereo Pro e attraverso visita monoscopica. Questa distinzione è dovuta alla differenziazione della modalità di gestione del modello tra i vari dispositivi.

Con il modello in stereoscopia cominciamo la nostra restituzione, in questo momento ha grande importanza la creazione di un file di codici, che un file costituito nel modo seguente:

ID; Descrizione entità; tipologia (punto, linea, polilinea); codice colore.

In Z-Map Photo è possibile importare file di codici già esistenti o crearne di nuovi. Il file di codici serve per poter assegnare a ciascuna tipologia di elementi reali un suo identificativo, Z-Map in base crea un layer per ogni codice, così facendo risulterà semplice derivare altre carte da questa principale.

In Z-Map grazie al suo motore di tipo CAD è molto semplice eseguire l'operazione di restituzione, questo perché si ha la piena disponibilità di tutte le funzioni di disegno, varie tipologie di osnap (riattacco) che in questa fase risultano oltremodo fondamentali.

A questo punto possiamo passare al tracciamento delle entità, dal monitor principale avremo la visione stereoscopica del modello in quello ausiliare vedremo le entità via via tracciate.

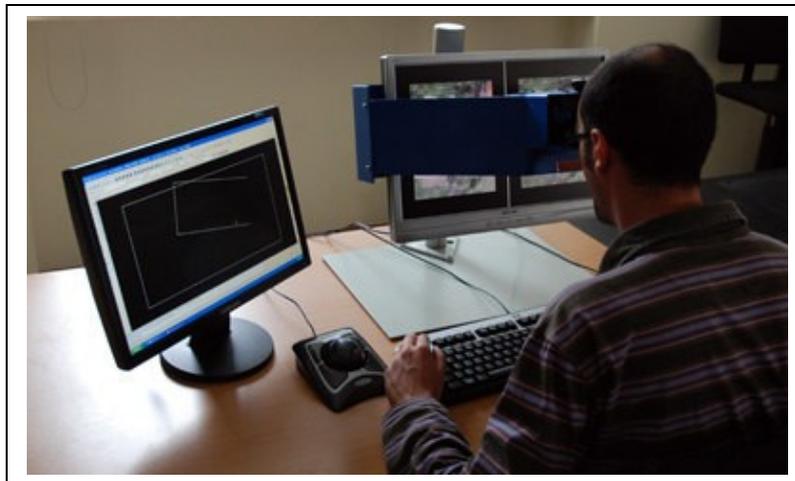


Figura 59 - Monitor principale e monitor ausiliare.

Per restituire un'entità bisogna raggiungerla attraverso la visione stereoscopica puntare la trackball sui suoi vertici e tracciare la sagoma dell'elemento in questione. Ad esempio se si vuol restituire un edificio, si punta con il cursore che individua l'altimetria sulla linea di gronda e con quella quota si traccia la sagoma che l'edificio occupa sul suolo.

L'ordine di restituzione è: prima le strutture più durevoli nel tempo, come edifici o muri di sostegno, poi le strutture che poggiano su queste, come muretti o limiti di strade,

dopodichè tutti gli altri elementi. Questo è una regola di massima che serve per lo più a semplificare le operazioni di attacco piano altimetrico.

Dopo aver tracciato tutti gli elementi si avrà una visione come quella che segue:



Figura 60 - Costruzione del file di restituzione.

Per apprezzare maggiormente il rilievo dei punti in altimetria, grazie al CAD 3D di Z-Map, può essere visto anche così:

Dopo la fase di restituzione, come visto nel capitolo 2.3, si passa all'editing grafico, che "pulisce" il disegno da imperfezione ed aggiunge un maggiore strato informativo grazie alla vestizione.

Dopo aver restituito tutti gli elementi antropici del territorio, spegnendo tutti i layer aperti, si è passato alla costruzione di un piano a curve di livello, il passo adottato, visto che si tratta di una carta a scala 1:5000, è stato di 5m.



Figura 61 - Piano a curve di livello.

3.7 - Generazione DEM.

Il DEM (digital elevation model) ci fornisce una rappresentazione grafica bidimensionale dell'andamento altimetrico del territorio (vedi 2.5.2). Il software Z-Map Photo, settando alcuni parametri che vedremo in seguito, genera in maniera totalmente automatica il modello.

Come abbiamo visto nel capitolo 2.5.2 il DEM viene costruito su una base vettoriale, composta da elementi di cui si conoscono tutte e tre le coordinate spaziali. Come base per il nostro DEM si possono utilizzare diverse delle informazioni precedentemente restituite o creare un apposito seminato di punti ovviamente creato in stereoscopia.

Oltre a questo sistema il software Z-Map Photo consente di generare un DEM direttamente da immagine fornendo un DEM di supporto che è già presente nel nostro archivio.

La metodologia utilizzata in questo lavoro per la creazione del DEM è stata quella di utilizzare come riferimento il piano a curve di livello generato in fase di restituzione. Con il software in oggetto si sono compiute le seguenti operazioni, si richiama la voce costruisci da entità dal menù superfici e dopo aver selezionato l'entità coinvolte nella generazione del DEM ci compare la seguente schermata:

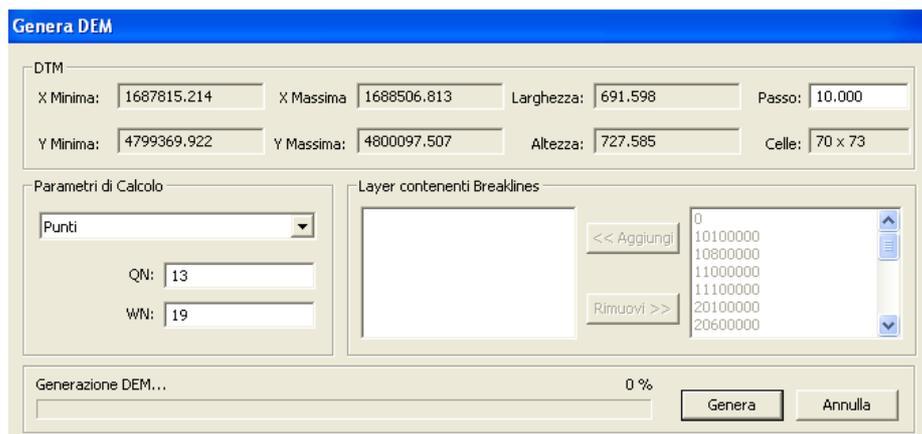


Figura 62 - Generazioni DEM da entità.

Nel riquadro DTM abbiamo i valori minimi e massimi della X e della Y, la larghezza e altezza del DEM risultante e il passo che si utilizzerà per la generazione del DEM.

Nel riquadro parametri di calcolo troviamo la possibilità di scegliere tra punti, punti e vertici, punti e breaklines o punti, vertici e breaklines. Nel nostro lavoro si è utilizzato un passo di 2 e come parametri di calcolo punti, vertici e breaklines. Il risultato ottenuto è il seguente:

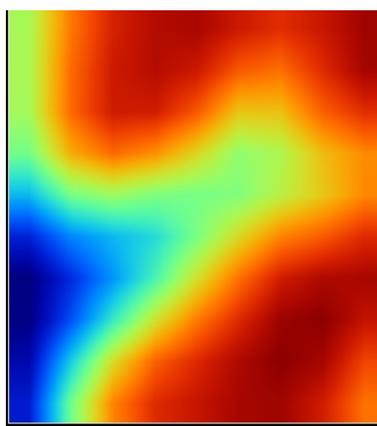


Figura 63 - DEM dell'area in studio.

3.8 - Generazione Ortofoto.

L'ortofoto è uno strumento molto utile per avere una visione globale di ogni realtà territoriale, essa può essere considerata a tutti gli effetti una carta ed in più porta con sé un gran quantitativo di informazione grafica.

In Z-Map Photo la generazione di un ortofoto è un'operazione semplicissima e il suo risultato è molto soddisfacente grazie alla grande attenzione data nello sviluppo dei vari algoritmi su cui si basa. I dati che occorrono per la realizzazione dell'ortofoto sono:

- Fotogrammi orientati;
- DEM di supporto.

Tali dati li abbiamo ottenuti nelle operazioni precedentemente descritte.

Andando nel menù proiezioni immagini e scegliendo la voce ortofoto per prima cosa ci verrà chiesto il DEM di riferimento e poi i fotogrammi, una volta inseriti questi dati si aprirà la seguente finestra:

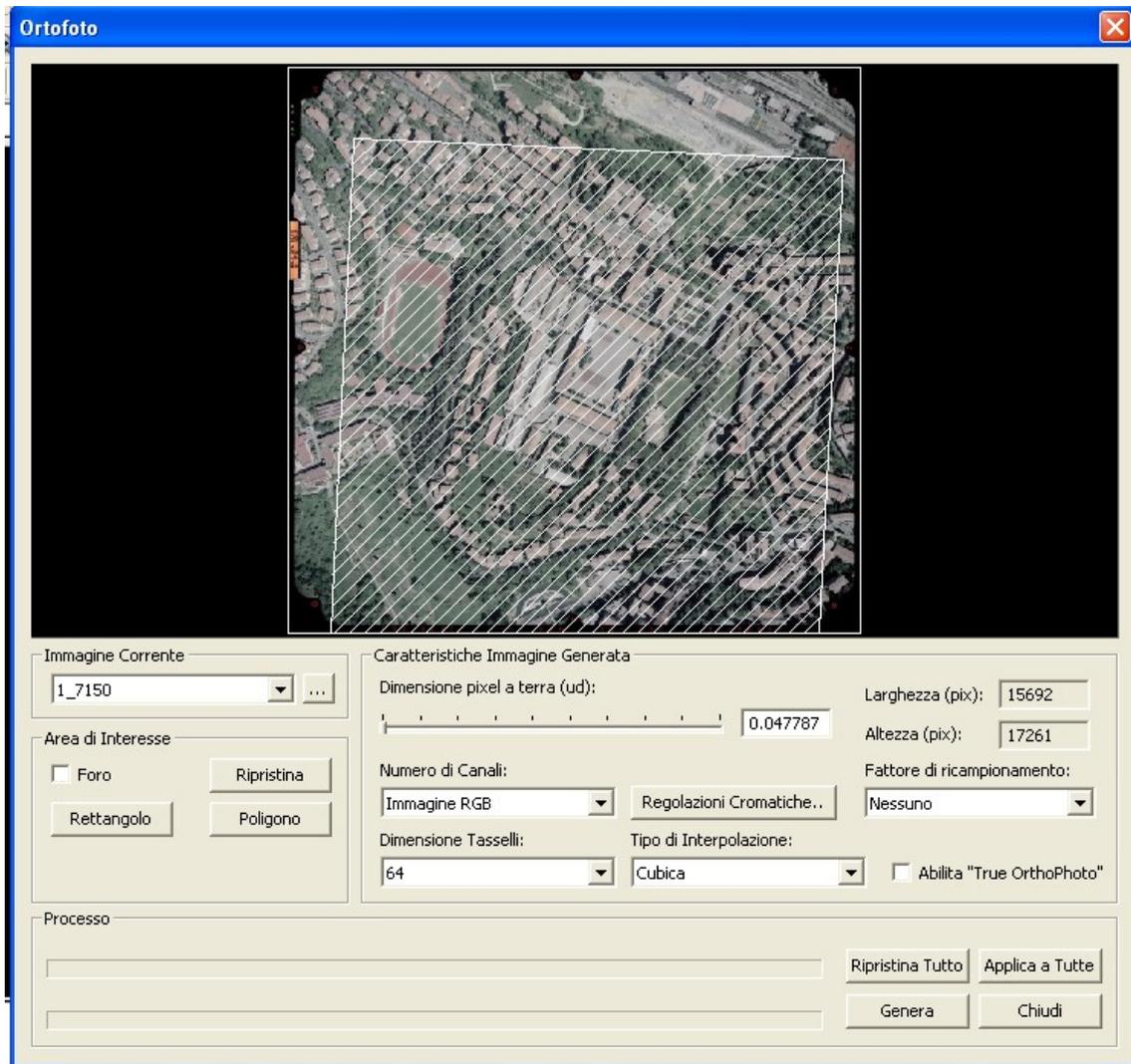


Figura 64 - Creazione ortofoto.

I parametri che ci vengono richiesti sono relativi alle caratteristiche dell'immagine generata e sono:

- Dimensione del pixel a terra: è un parametro molto importante. Più il pixel a terra è piccolo più l'ortofoto è definita e quindi l'immagine ortorettificata sarà grande. Viceversa al crescere della dimensione del pixel corrisponderà un'ortofoto sempre più piccola e "sgranata". Ridurre la dimensione al di sotto del valore proposto non ha molto significato. Una volta trovata la foto con la dimensione più grande si applica a tutte per imporre quella dimensione a tutte le altre foto. Questo procedimento rende la risoluzione di tutte le ortofoto uniforme. Da notare che il valore inizialmente proposto è il valore ottimale. Sono mostrate anche le dimensioni

in pixel dell'ortofoto finale. Questo valore e' da tenere sott'occhio per capire se la dimensione del pixel a terra scelta e' adeguata.;

- Numero di canali: è possibile scegliere se l'ortofoto dovrà essere un'immagine a colori (RGB) o in toni di grigio;
- Fattore di ricampionamento: impostabile consente di "alleggerire" le superfici particolarmente definite, dove tale precisione non è utile alla generazione dell'ortofoto. Più cresce il valore del fattore e più crescerà il passo del DEM associato, diminuendo quindi la risoluzione. Il ricampionamento viene applicato solo per il processo di Proiezione e non viene alterato il passo del DEM originale.
- Dimensione tasselli: il calcolo della proiezione dell'immagine sulla superficie viene eseguito scomponendo l'immagine di partenza in tanti tasselli da proiettare singolarmente. L'utente può scegliere la dimensione di questi tasselli. Ad una dimensione piccola corrisponderà maggior dettaglio nella proiezione ma anche maggior lentezza nel processo, viceversa nel caso di un tassello grande. Il valore "64" e' in genere ottimale;
- Tipo di interpolazione: è possibile scegliere tra interpolazione cubica o quadratica (vedi capitolo 2.6);
- Abilitazione "True OrthoPhoto": Se la casella "Abilita True OrthoPhoto" è attiva, l'algoritmo True OrthoPhoto sarà applicato all'ortofoto generata. L'algoritmo True OrthoPhoto riempie le zone d'ombra che si generano nelle ortofoto quando un lato di un oggetto non e' completamente visibile, integrando le parti mancanti con i pezzi di altre ortofoto eventualmente disponibili da altre angolazioni.

I parametri utilizzati per la realizzazione dell'ortofoto sono:

- Numero di canali: RGB;
- Fattore di ricampionamento: nessuno;
- Dimensione tasselli: 64;
- Tipo di interpolazione: quadratica;
- Abilitazione "True OrthoPhoto": no.

Con questi parametri si avrà un ortofoto di dimensioni 15692 pixel X 17261 pixel.

A questo punto lanciamo l'esecuzione dell'ortofoto, dopodichè avremo 6 ortofoto, una per ciascun fotogramma.

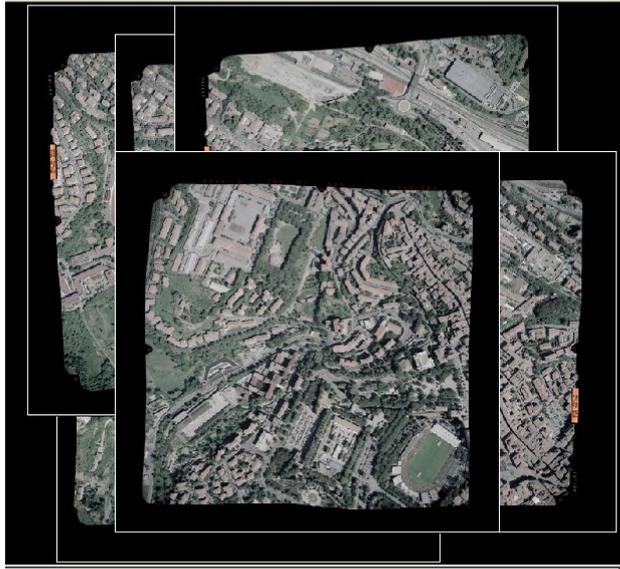


Figura 65 - Le 6 ortofoto dopo la loro creazione.

Dopo aver generato una serie di ortofoto separate si può generare un ortofotomosaico componendo le singole ortofoto. Uno degli aspetti principali nella realizzazione di mosaici di ortofoto è costituito dall'assemblaggio delle diverse immagini. Questo problema si esplicita nel trovare, all'interno delle aree di sovrapposizione, il percorso ottimale delle linee di giunzione tra le varie ortofoto. Queste linee sono chiamate Linee di Taglio. La corretta selezione delle linee di taglio incide sulla qualità del mosaico, in quanto rende quasi invisibili i punti di stacco tra un'ortofoto e l'altra.

In Z-Map sono disponibili due tipi di algoritmo per il calcolo automatico delle Linee di Taglio:

- 1) LPV (Luogo dei Punti Vicini);
- 2) PPD (Percorsi mediante Programmazione Dinamica).

Il primo algoritmo, basato sui "diagrammi di Voronoi", è più indicato per ortofotomosaici di ortofoto terrestri, il secondo, più evoluto, è in genere usato per le ortofoto aeree.

L'algoritmo PPD può essere condizionato nel suo comportamento modificando i suoi parametri.

In questo caso si è ritenuto più adatto il metodo PPD.

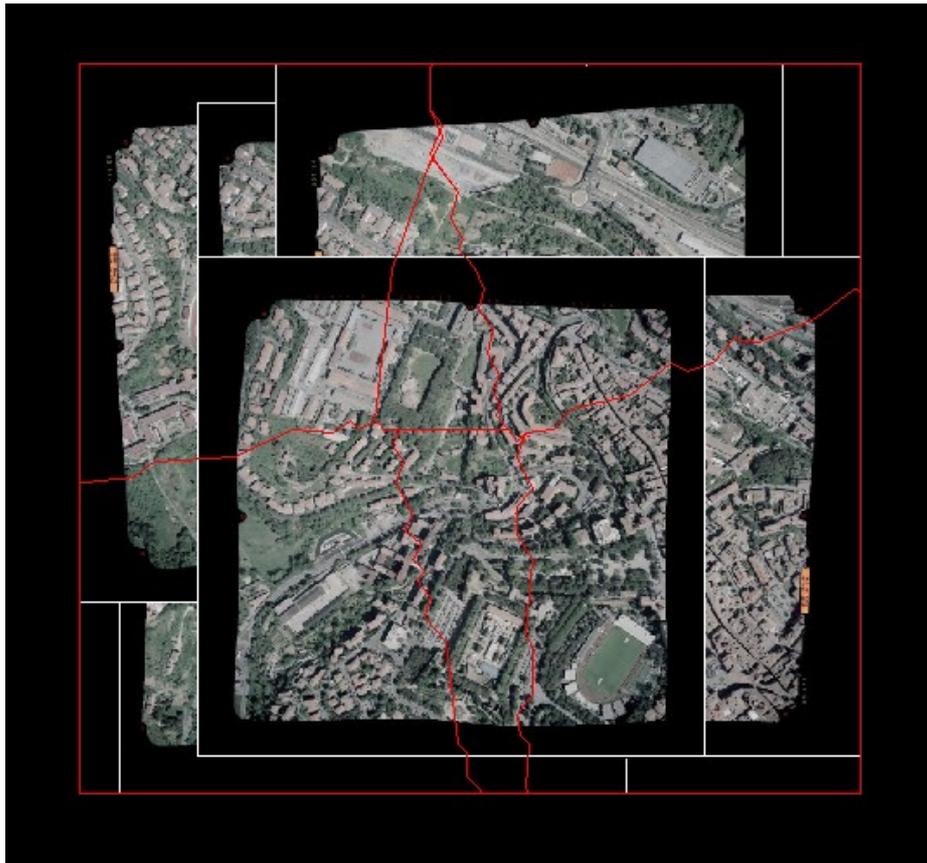


Figura 66 - Calcolo delle linee di taglio con algoritmo PPD.

A questo punto si può creare il mosaico, dopo aver selezionato i fotogrammi e le linee di taglio. Nella finestra di dialogo per il mosaico non ho modificato alcun valore in modo da conservare le caratteristiche settate precedentemente per l'ortofoto.

Alla fine di tutto il processo si ottiene il seguente risultato:



Dopo aver ottenuto l'ortofoto con qualsiasi software per l'elaborazione delle immagini o con lo stesso Z-Map Photo è possibile ritagliare l'immagine o creare opportune cornici per abbellire il tutto.

Bibliografia.

Cambursano C. (1997), Cartografia Numerica, Progetto Leonardo.

A. Manzino (2000), Lezioni di Topografia, Otto Editore.

C. Parente, R. Santamaria (2000), Intraduzione alla Cartografia Numerica, Giannini Napoli.

Tutorial Z-Map Photo (2009), Menci Software.

Selvini Attilio, Guzzetti Franco (2000), Fotogrammetria generale, UTET.

V. Franco, M. Lo Brutto (2006), Elementi di Fotogrammetria.

Balletti, Guerra, Fregonese (2009), Monti, Appunti di Fotogrammetria, <http://circe.iuav.it>

Vianello Gilmo, Malagoli Petronio (1998), Cartografia e fotointerpretazione, CLUEB.

Kraus Karl (1998), Fotogrammetria, Levrotto & Bella.

Cartografia numerica. Manuale pratico per l'utilizzo dei GIS (2008), Flaccovio Dario.

Istituto Geografico Militare (2009), <http://www.igmi.org>.

Portale Cartografico Nazionale (2009), <http://www.pcn.minambiente.it/PCN/>